



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Gebrauchsmusterschrift
⑩ DE 201 13 014 U 1

⑤① Int. Cl. 7:
H 02 K 41/02

②① Aktenzeichen: 201 13 014.9
②② Anmeldetag: 4. 8. 2001
④⑦ Eintragungstag: 4. 10. 2001
④③ Bekanntmachung
im Patentblatt: 8. 11. 2001

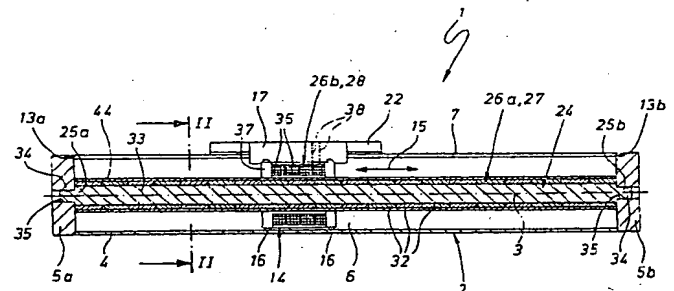
DE 201 13 014 U 1

⑦③ Inhaber:
FESTO AG & Co, 73734 Esslingen, DE

⑦④ Vertreter:
Patentanwälte Magenbauer, Reimold, Vetter &
Abel, 73730 Esslingen

⑤④ Elektrodynamischer Lineardirektantrieb

⑤⑦ Elektrodynamischer Lineardirektantrieb, mit einem Längserstreckung aufweisenden Gehäuse (2), das einen sich in der Längsrichtung des Gehäuses (2) erstreckenden Aufnahme- raum (6) enthält, in dem zum Hervorrufen einer Linearbewegung eines aus dem Gehäuse (2) herausragenden Kraftübertragungsgliedes (17) vorgesehene Antriebsmittel vorgesehen sind, die zwei antriebsmäßig zusammenwirkende und in der Längsrichtung des Aufnahme- raumes (6) relativ zueinander bewegbare Antriebssy- steme (26a, 26b) in Gestalt eines mehrere coaxial aufein- anderfolgende Spulen (36) enthaltenden Spulensystems (28) und eines mehrere axial aufeinanderfolgende Perma- nentmagnete (32) enthaltenden Magnetsystems (27) auf- weisen, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandung des Gehäuses (2) an einer Stelle des Umfanges des Aufnahme- raumes (6) von einem sich in der Längsrichtung des Aufnahme- raumes (6) erstreckenden Längsschlitz (7) durchsetzt ist, der von dem Kraftübertragungsglied (17) durchgriffen wird, dass das eine Antriebssystem (26b) an einem in dem Aufnahme- raum (6) längsverachließbar ge- führt und mit dem seitwärts wegragenden Kraftüber- tragungsglied (17) bewegungsgekoppelten Läufer (14) vorgesehen ist, und dass das andere Antriebssystem (26a) an einem gehäusefesten, sich zwischen den Endberei- chen des Aufnahme- raumes (6) erstreckenden und den Läufer (14) durchsetzenden stangenartigen Stator (24) vorgesehen ist.



DE 201 13 014 U 1

04.08.01

G 19561 - lehö
04. Juli 2001

FESTO AG & Co. 73734 Esslingen

Elektrodynamischer Lineardirektantrieb

Die Erfindung betrifft einen elektrodynamischen Lineardirektantrieb, mit einem Längserstreckung aufweisenden Gehäuse, das einen sich in der Längsrichtung des Gehäuses erstreckenden Aufnahme- raum enthält, in dem zum Hervorrufen einer Linearbewegung eines aus dem Gehäuse herausragenden Kraftübertragungsgliedes vorgesehene Antriebsmittel vorgesehen sind, die zwei antriebsmäßig zusammenwirkende und in der Längsrichtung des Aufnahme- raumes relativ zueinander bewegbare Antriebssysteme in Gestalt eines mehrere koaxial aufeinanderfolgende Spulen enthaltenden Spulensystems und eines mehrere axial aufeinanderfolgende Permanentmagnete enthaltenden Magnetsystems aufweisen.

Aus der DE 198 53 942 C1 geht ein elektrischer Linearantrieb hervor, bei dem ein elektrodynamischer Lineardirektantrieb als patronenartige Einheit ausgeführt ist, die in einem weiteren Gehäuse untergebracht ist. Im Gehäuse des Lineardirek- triebes sind Antriebsmittel untergebracht, die zwei relativ zueinander bewegliche Antriebssysteme in Gestalt eines Spu- lensystems und eines Magnetsystems enthalten, wobei eines der Antriebssysteme am Innenumfang des Gehäuses sitzt und das an- dere Antriebssystem an einem stangenartigen Kraftübertra-

DE 201 13014 U1

04-2-08-01

gungsglied angeordnet ist, das stirnseitig aus dem Gehäuse herausragt.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen elektrodynamischen Lineardirektantrieb zu schaffen, der sich bei kompakten Abmessungen mit kostengünstigem Aufbau realisieren lässt.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist bei einem elektrodynamischen Linearantrieb der eingangs genannten Art vorgesehen, dass die Wandung des Gehäuses an einer Stelle des Umfanges des Aufnahmeraumes von einem sich in der Längsrichtung des Aufnahmeraumes erstreckenden Längsschlitz durchsetzt ist, der von dem Kraftübertragungsglied durchgriffen wird, dass das eine Antriebssystem an einem in dem Aufnahmeraum längsverschiebbar geführten und mit dem seitwärts wegragenden Kraftübertragungsglied bewegungsgekoppelten Läufer vorgesehen ist, und dass das andere Antriebssystem an einem gehäusefesten, sich zwischen den Endbereichen des Aufnahmeraumes erstreckenden und den Läufer durchsetzenden stangenartigen Stator vorgesehen ist.

Bei einem derartigen Aufbau greift das Kraftübertragungsglied vergleichbar den aus der Fluidtechnik bekannten kolbenstangenlosen Linearantrieben seitwärts durch den im Gehäuse ausgebildeten Längsschlitz hindurch, so dass sich die Längenabmessungen des Lineardirektantriebes, auch im Betrieb, auf die Baulänge des Gehäuses beschränken lassen und mithin kompakte Abmessungen vorliegen. Der mit dem Kraftübertragungsglied be-

DE 201 13 014 01

04-3-08-01

wegungsgekoppelte Läufer ist im Aufnahmeraum des Gehäuses längsverschiebbar geführt, beispielsweise an dem den Aufnahmeraum begrenzenden Innenumfang des Gehäuses und/oder auf dem Außenumfang des stangenartigen Stators. Mithin eröffnet der Aufbau des Lineardirektantriebs die Möglichkeit, den bewegbaren Läufer vergleichbar einem Antriebskolben bei aus der Fluidtechnik bekannten kolbenstangenlosen Linearantrieben im längsgeschlitzten Gehäuse zu führen, was bei entsprechender Abstimmung der Gehäusebauformen weiterhin die Möglichkeit schafft, zumindest den den Längsschlitz aufweisenden Bestandteil des Gehäuses wahlweise für den Aufbau des Lineardirektantriebes oder eines kolbenstangenlosen fluidbetätigten Linearantriebes einzusetzen. Die stangenartigen Ausgestaltung des Stators schafft die Möglichkeit, das daran angeordnete Antriebssystem mit Abstand zur seitlichen Wandung des Aufnahmeraumes anzuordnen, so dass sein Aufbau durch den Längsschlitz nicht beeinträchtigt wird und eine optimale Auslegung des am Stator befindlichen Antriebssystems möglich ist.

Handelt es sich bei dem statorseitigen Antriebssystem um das Magnetsystem, ergibt sich auch der Vorteil, dass der zur Außenoberfläche geschaffene mechanische Abstand eine Verringerung der Anziehungskräfte der Magnetkräfte herbeiführt, so dass die Umgebung des Lineardirektantriebes durch das meist sehr starke Magnetfeld nicht in Mitleidenschaft gezogen wird.

Weitere vorteilhafte Maßnahmen ergeben sie aus den Unteransprüchen.

DE 201 13 014 01

04-408-01

Die beiden Antriebssysteme können als vormontierte Baueinheit in das Gehäuse eingesetzt sein, was den Installationsaufwand auf ein Minimum reduziert.

Das Gehäuse enthält zweckmäßigerweise ein den Längsschlitz aufweisendes Gehäuserohr und zwei zum Verschließen des Aufnahme-raumes endseitig im Gehäuserohr befestigte Gehäusedeckel. Hier besteht die vorteilhafte Möglichkeit, den stangenartig ausgebildeten Stator mit seinen beiden Endabschnitten am jeweils zugeordneten Gehäusedeckel zu fixieren.

Das Gehäuserohr kann kostengünstig und sehr präzise als Strangpreßprofilteil ausgebildet sein und insbesondere aus Aluminiummaterial bestehen.

Außen am Gehäuse kann eine sich in der Längsrichtung des Gehäuses erstreckende Linearführungseinrichtung vorgesehen sein, an der ein mit dem Kraftübertragungsglied bewegungskoppeltes Führungsteil linear verschiebbar gelagert ist. Das Führungsteil eignet sich insbesondere zur Befestigung von zu bewegendenden Bauteilen. Durch diese externe Führung wird der Läufer entlastet und der Verschleiß zwischen dem beweglichen Läufer und den gehäusefesten Bestandteilen reduziert.

Abweichend von der schon erwähnten Platzierung der Antriebssysteme besteht auch die Möglichkeit, das Spulensystem am Stator und das Magnetsystem am Läufer anzuordnen. Ein solcher Aufbau empfiehlt sich jedoch in der Regel nur bei kurzen Bau-längen.

DE 201 13 014 01

04.08.01

Der stangenartige Stator ist zweckmäßigerweise coaxial zum Läufer angeordnet. Ferner kann der Stator eine aus Vollmaterial bestehende oder zumindest partiell hohl ausgebildete Trägerstange aufweisen, auf der das Antriebssystem in coaxialer Anordnung sitzt. Die Trägerstange kann als Rückschlußeinrichtung eingesetzt werden und besteht zweckmäßigerweise aus ferromagnetischem Material.

Es ist des Weiteren von Vorteil, wenn das am Stator angeordnete Antriebssystem von einer vorzugsweise aus nicht magnetisierbarem Material bestehenden Hülse umgeben ist. Diese Hülse kann beispielsweise aus Kunststoffmaterial oder aus Edelstahl bestehen. Ferner kann die Hülse als Gleithülse fungieren, auf der der Läufer bei einer Linearbewegung entlanggleiten kann, ohne das durch die Hülse abgedeckte statorseitige Antriebssystem in Mitleidenschaft zu ziehen.

Der Lineardirektantrieb kann insbesondere auch so ausgeführt werden, dass sich auf dem Sektor der fluidtechnischen Linearantriebe verwendete Dichtungsmaßnahmen ohne weiteres übernehmen lassen und mithin keine Spezialanfertigungen notwendig sind. Dies gilt beispielsweise für ein den Längsschlitz abdichtendes Abdichtungssystem, das ein oder mehrere Bandelemente enthalten kann, die sich in der Längsrichtung des Längsschlitzes erstrecken und die im Bereich des Läufers lokal abgehoben werden, um den Durchgriff des Kraftübertragungsgliedes durch den Längsschlitz zu gestatten.

DE 201 13 014 01

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

Figur 1 eine erste Bauform des erfindungsgemäßen elektrodynamischen Linearantriebes in einer schematischen Längsschnittdarstellung,

Figur 2 den Lineardirektantrieb aus Figur 1 im Querschnitt gemäß Schnittlinie II-II, und

Figur 3 eine weitere Bauform des elektrodynamischen Lineardirektantriebes in einer mit der Darstellung der Figur 2 vergleichbaren Querschnittsdarstellung, wobei in Umkehrung zu der Anordnung gemäß Figuren 1 und 2 das Spulensystem am Stator und das Magnetsystem am Läufer angeordnet ist.

Der in seiner Gesamtheit mit Bezugsziffer 1 bezeichnete elektrodynamische Lineardirektantrieb verfügt über ein Längserstreckung aufweisendes Gehäuse 2, dessen Längsachse mit Bezugsziffer 3 gekennzeichnet ist.

Das Gehäuse 2 setzt sich im wesentlichen aus einem lineare Erstreckung aufweisenden Gehäuserohr 4 und zwei an entgegengesetzten Stirnseiten endseitig an dem Gehäuserohr 4 befestigten Gehäusedeckeln 5a, 5b zusammen.

Das Gehäuse 2 umgrenzt einen in seinem Innern angeordneten Aufnahmeraum 6, der sich in der Längsrichtung des Gehäuses 2

0470801

erstreckt und vorzugsweise zylindrisch gestaltet ist. Beim Ausführungsbeispiel besitzt der Aufnahmeraum 6 einen kreisförmigen Querschnitt, doch ist abweichend davon beispielsweise auch eine ovale oder elliptische Querschnittsform möglich.

Der Aufnahmeraum 6 ist umfangsseitig durch das Gehäuserohr 4 und stirnseitig durch die beiden Gehäusedeckel 5a, 5b begrenzt. Letztere sind beim Ausführungsbeispiel an die Stirnflächen des Gehäuserohres 4 angesetzt, können abweichend hiervon aber auch zumindest teilweise axial in das Gehäuserohr 4 eintauchen.

Die Wandung des Gehäuses 2 ist an einer Stelle des Umfanges des Aufnahmeortes 6 von einem sich in der Längsrichtung des Aufnahmeortes 6 erstreckenden Längsschlitz 7 durchsetzt. Dieser Längsschlitz 7 befindet sich zweckmäßigerweise ausschließlich am Gehäuserohr 4, das mithin eine an einer Stelle seines Umfangs längsgeschlitzte Gestaltung hat.

Der Längsschlitz 7 erstreckt sich, vorzugsweise radial mit Bezug zur Längsachse des Aufnahmeortes 6, zwischen der den Aufnahmeort 6 umfangsseitig begrenzenden Innenumfangsfläche 8 und der Außenfläche 12 des Gehäuserohres 4. In der Längsrichtung des Gehäuses 2 erstreckt er sich durchgehend zwischen den beiden einander entgegengesetzt orientierten Stirnflächen 13a, 13b des Gehäuserohres 4.

Im Innern des Aufnahmeortes 6 befindet sich ein im Vergleich zu dessen Länge kürzer ausgebildeter Läufer 14, der in der

DE 201 13 014 01

04 08 01

Lage ist, eine durch Doppelpfeil angedeutete, hin und her gehende Abtriebsbewegung 15 in der Längsrichtung des Aufnahme-
raumes 6 auszuführen. Er ist an seinem Außenumfang mit Gleit-
flächen 16 versehen, die beispielsweise fest angeformt oder
an am Läufer 14 befestigten Gleitringen ausgebildet sind und
über die der Läufer 14 mit der Umfangsfläche 8 des Aufnahme-
raumes 6 gleitverschieblich in Berührungkontakt steht.

Der Läufer 14 ist folglich in dem Aufnahmeraum 6 in dessen
Längsrichtung verschiebbar geführt.

Mit dem Läufer 14 ist ein zum Beispiel stegartig oder finger-
artig ausgebildetes Kraftübertragungsglied 17 so bewegungsge-
koppelt, dass es die Abtriebsbewegung 15 des Läufers 14 un-
mittelbar mitmacht. Das Kraftübertragungsglied 17 ragt ausge-
hend vom Läufer 14 seitwärts, quer zur Längsachse 3 des Ge-
häuses 2, weg und durchsetzt den Längsschlitz 7 zur Außensei-
te des Gehäuses 2 hin.

Der durch den Längsschlitz 7 hindurch aus dem Gehäuse 2 her-
ausragende äußere Abschnitt 18 des Kraftübertragungsgliedes
17 ist geeignet, um mit einem zu bewegendem Gegenstand ver-
bunden zu werden. Bei einer nicht näher dargestellten Dar-
stellungsform verfügt der äußere Abschnitt 18 unmittelbar
über Befestigungsmittel zur Befestigung eines solchen Gegen-
standes.

Beim Ausführungsbeispiel ist das Kraftübertragungsglied 17
mit einem außen am Gehäuserohr 4 angeordneten Führungsteil 22

DE 201 13 014 01

04-08-01

so bewegungsgekoppelt, dass dieses Führungsteil 22 die Abtriebsbewegung 15 des Läufers 14 mitmacht. Das Führungsteil 22 ist an einer an der Außenfläche 12 des Gehäuserohres 4 vorgesehenen Linearführungseinrichtung 23 linear verschiebbar geführt, die parallel zur Längsachse 3 des Gehäuses 2 verläuft. Die Linearführungseinrichtung 23 kann beispielsweise schienenartig ausgeführt sein.

An dem Führungsteil 22 sind nicht näher dargestellte Befestigungsmittel vorgesehen, die die Befestigung eines zu bewegenden Gegenstandes ermöglichen. Durch das Zusammenwirken mit der Linearführungseinrichtung 23 kann gewährleistet werden, dass der Läufer 14 keinen oder zumindest nur geringen Querkraften ausgesetzt ist und dadurch die Verschleißanfälligkeit reduziert wird.

Zusätzlich zu dem Läufer 14 befindet sich im Innern des Aufnahmeraumes 6 ein gehäusefest angeordneter, stangenartig ausgebildeter Stator 24. Dieser erstreckt sich in Längsrichtung des Aufnahmeraumes 6 zwischen dessen beiden stirnseitigen Endbereichen, wobei er den Läufer 14, in vorzugsweise koaxialer Anordnung, durchsetzt. Wenn der Läufer 14 seine Abtriebsbewegung 15 ausführt, läuft er auf dem Stator 24 entlang.

Ein Kontakt zwischen dem Läufer 14 und dem Stator 24 ist nicht notwendigerweise erforderlich, kann jedoch durchaus vorgesehen sein. Es ist insbesondere möglich, eine Ausgestaltung zu treffen, bei der der Läufer 14 auf dem stangenartigen Stator 24 verschiebbar geführt ist. Diese Verschiebeführung

DE 201 13 014 01

04-10-01

kann je nach Bedarf zusätzlich oder alternativ zu der oben erwähnten, zwischen dem Läufer 14 und dem Gehäuserohr 4 möglichen Verschiebeführung realisiert werden.

Zweckmäßigerweise ist der Stator 24 mit seinen beiden axial orientierten Endabschnitten 25a, 25b am jeweils zugewandten Gehäusedeckel 5a, 5b befestigt.

Zum Hervorrufen der Abtriebsbewegung 15 des Läufers 14 sind im Innern des Aufnahme-raumes 6 Antriebsmittel untergebracht, die zwei antriebsmäßig zusammenwirkende und in der Längsrichtung des Aufnahme-raumes 6 relativ zueinander bewegbare erste und zweite Antriebssysteme 26a, 26b enthalten. Das erste Antriebssystem 26a ist Bestandteil des Stators 24, das zweite Antriebssystem 26b ist Bestandteil des Läufers 14.

Beim Ausführungsbeispiel der Figuren 1 und 2 ist das erste Antriebssystem 26a als Magnetsystem ausgebildet, das mehrere axial aufeinanderfolgend angeordnete Permanentmagnete 32 aufweist. Diese Permanentmagnete 32 sind zweckmäßigerweise axial polarisiert und so angeordnet, dass gleichnamige Pole einander zugewandt sind.

Der Stator 24 enthält zweckmäßigerweise eine aus Vollmaterial bestehende oder - nicht dargestellt - zumindest teilweise hohl ausgebildete Trägerstange 33, auf der die beim Ausführungsbeispiel als Ringmagnete ausgebildeten Permanentmagnete 32 koaxial aufeinanderfolgend sitzen. Um als Rückschluß-einrichtung zu wirken, kann die Trägerstange 33 aus magnetisch

DE 201 13 014 U1

leitfähigem Material bestehen, insbesondere aus weichmagnetischem Material.

Die Trägerstange 33 kann auch zur gehäuseseitigen Fixierung des Stators 24 herangezogen werden. Sie enthält beim Ausführungsbeispiel an den beiden Endabschnitten 25a, 25b des Stators 24 jeweils einen axial vorspringenden Lagerzapfen 34, der in ein passendes Befestigungsloch 35 des zugeordneten Gehäusedeckels 5a, 5b eingesteckt ist.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass das Gehäuse 2 und insbesondere das Gehäuserohr 4 vorzugsweise aus magnetisch nicht oder nur schlecht leitendem Material besteht, insbesondere aus Aluminiummaterial. Das Gehäuserohr 4 kann kostengünstig als aus Aluminiummaterial bestehendes Strangpreßprofilteil ausgeführt sein.

Das zweite Antriebssystem 26b ist beim Ausführungsbeispiel gemäß Figuren 1 und 2 als Spulensystem 28 ausgeführt. Es enthält mehrere koaxial aufeinanderfolgend angeordnete Spulen 36, die auf einem Spulenträger 27 sitzen, bei dem es sich um den Grundkörper des Läufers 14 handeln kann. Die Spulen 36 umschließen das Magnetsystem 27 des Stators 24. Der Spulenträger 37 kann Bestandteil einer Rückschlußeinrichtung sein und besteht in diesem Fall aus magnetisch leitendem Material, insbesondere aus ferromagnetischem Material.

Das Spulensystem 28 ist getaktet mit einer Erregerspannung beaufschlagbar. Eine derartige Ansteuerung ermöglichende

elektrische Leiter sind in Figuren 1 und 2 strichpunktiert bei 38 angedeutet. Diese elektrischen Leiter 38 sind vorzugsweise über das Kraftübertragungsglied 17 nach außen geführt und somit von außen her zugänglich.

Die Antriebssysteme 26a, 26b arbeiten nach dem elektrodynamischen Prinzip zusammen. Die einzelnen Spulen 36 werden einzeln oder in Gruppen zeitlich aufeinanderfolgend erregt, wobei das erzeugte Magnetfeld mit den vom permanentmagnetischen Magnetsystem hervorgerufenen Magnetfeldern zusammenwirkt, so dass sich Rückwirkungskräfte einstellen, die das Spulensystem 28 und somit den das Spulensystem 28 tragenden Läufer 14 - je nach Polungsrichtung - in die eine oder andere Richtung beaufschlagen, so dass die Abtriebsbewegung 15 erzeugt wird.

Das Ausführungsbeispiel der Figur 3 unterscheidet sich von demjenigen der Figuren 1 und 2 durch eine abweichende Gehäusgestaltung und eine vertauschte Anordnung der Antriebssysteme. Hier ist das erste Antriebssystem 26a als stationäres Spulensystem 28 ausgeführt, dessen einzelne Spulen coaxial aufeinanderfolgend auf der Trägerstange 33 sitzen. Das zweite Antriebssystem 26b ist ein Magnetsystem, das mehrere aufeinanderfolgend angeordnete ringförmige Permanentmagnete aufweist. Bei dieser Bauform kann die Stromzufuhr zu dem Spulensystem 28 stationär über das Gehäuse 2 erfolgen, so dass keine im Betrieb mitbewegten Leiter erforderlich sind.

Bei der Bauform der Figur 3 befindet sich die Linearführungseinrichtung 23 nicht unmittelbar am Außenumfang des Gehäuse-

rohres 4, sondern an einem seitlich vom Gehäuserohr 4 weggehenden und vorzugsweise einstückig mit dem Gehäuserohr 4 ausgebildeten plattenartigen Vorsprung 43.

Bei beiden Ausführungsbeispielen kann der Stator 24 noch eine Hülse 44 aufweisen, die das erste Antriebssystem 26a koaxial umschließt, wobei sie zweckmäßigerweise aus nicht magnetisierbarem Material besteht, um die Magnetfelder nicht zu beeinträchtigen. Es kann sich beispielsweise um eine Kunststoffhülse oder um eine Edelhülse handeln. Die Hülse kann in Bezug auf das erste Antriebssystem 26a eine Schutzfunktion erfüllen, indem sie einen unmittelbaren Kontakt zwischen diesem ersten Antriebssystem 26a und dem Läufer 14 verhindert. Bei Bedarf kann sie die Funktion einer Gleithülse übernehmen, auf der der Läufer mit geringem Widerstand entlanggleiten kann.

Der Läufer 14 und der Stator 24 sind zweckmäßigerweise als vormontierte Baueinheit in das Gehäuse 2 eingesetzt. Das Einsetzen ist sehr einfach von einer Stirnseite des Gehäuserohres 4 her möglich, wenn der zugeordnete Gehäusedeckel noch nicht montiert ist.

Im Bereich des Längsschlitzes 7 befindet sich zweckmäßigerweise ein in der Zeichnung nicht näher dargestelltes Abdichtungssystem, das einen Eintritt von Verunreinigungen in den Aufnahmeraum 6 verhindert. Dieses Abdichtungssystem enthält zweckmäßigerweise mindestens ein Dichtband, das von radial innen und/oder von radial außen her am Längsschlitz 7 ange-

04-14-08-01

ordnet ist und durch Kontakt mit den Schlitzflanken einen Verschuß des Längsschlitzes 7 bewirkt. Im Bereich des Läufers 14 wird das Dichtband vom Längsschlitz abgehoben, so dass der Durchgriff des Kraftübertragungsgliedes 17 durch den Längsschlitz 7 möglich ist. Ein derartiges Abdichtsystem wird bei fluidbetätigten kolbenstangenlosen Linearantrieben bereits eingesetzt und kann daher ohne weiteres übernommen werden. Es lassen sich somit durch Verwendung von Gleichteilen Kosten reduzieren, wenn ein und derselbe Hersteller sowohl fluidbetätigte Linearantriebe als auch elektrodynamische Lineardirektantriebe der beschriebenen Art herstellt.

In diesem Zusammenhang besteht dann auch die Möglichkeit, die Gestaltung des Gehäuserohres 4 so zu wählen, dass es sich sowohl für den Aufbau des Gehäuses des Lineardirektantriebes als auch für den Aufbau des Gehäuses eines fluidbetätigten kolbenstangenlosen Linearantriebes eignet. Es kann also beispielsweise das für den Aufbau des Gehäuses eines fluidbetätigten kolbenstangenlosen Linearantriebes vorgesehene Gehäuserohr ohne Veränderung auch als Gehäuserohr für das Gehäuse 2 des Lineardirektantriebes 1 verwendet werden. Ein Hersteller beider Arten von Linearantrieben kann dadurch die Anzahl der erforderlichen Bauteile reduzieren und somit Kosten einsparen.

DE 201 13 014 01

04.08.01

G 19561 - lehö
04. Juli 2001

FESTO AG & Co, 73734 Esslingen

Elektrodynamischer Lineardirektantrieb

Ansprüche

1. Elektrodynamischer Lineardirektantrieb, mit einem Längs-
erstreckung aufweisenden Gehäuse (2), das einen sich in der
Längsrichtung des Gehäuses (2) erstreckenden Aufnahmeraum (6)
enthält, in dem zum Hervorrufen einer Linearbewegung eines
aus dem Gehäuse (2) herausragenden Kraftübertragungsgliedes
(17) vorgesehene Antriebsmittel vorgesehen sind, die zwei
antriebsmäßig zusammenwirkende und in der Längsrichtung des
Aufnahmeraumes (6) relativ zueinander bewegbare Antriebssys-
teme (26a, 26b) in Gestalt eines mehrere coaxial aufeinander-
folgende Spulen (36) enthaltenden Spulensystems (28) und ei-
nes mehrere axial aufeinanderfolgende Permanentmagnete (32)
enthaltenden Magnetsystems (27) aufweisen, dadurch gekenn-
zeichnet, dass die Wandung des Gehäuses (2) an einer Stelle
des Umfanges des Aufnahmeraumes (6) von einem sich in der
Längsrichtung des Aufnahmeraumes (6) erstreckenden Längs-
schlitz (7) durchsetzt ist, der von dem Kraftübertragungs-
glied (17) durchgriffen wird, dass das eine Antriebssystem
(26b) an einem in dem Aufnahmeraum (6) längsverschiebbar ge-
führten und mit dem seitwärts wegragenden Kraftübertragungs-
glied (17) bewegungsgekoppelten Läufer (14) vorgesehen ist,

DE 201 13014 U1

04.08.01

und dass das andere Antriebssystem (26a) an einem gehäusefesten, sich zwischen den Endbereichen des Aufnahmeraumes (6) erstreckenden und den Läufer (14) durchsetzenden stangenartigen Stator (24) vorgesehen ist.

2. Lineardirektantrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer (14) und der Stator (24) als vormontierte Baueinheit in das Gehäuse (2) eingesetzt sind.

3. Lineardirektantrieb nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (2) ein der Längsschlitz (7) aufweisendes Gehäuserohr (4) und zwei zum Verschließen des Aufnahmeraumes (6) endseitig an dem Gehäuserohr (4) befestigte Gehäusedeckel (5a, 5b) aufweist.

4. Lineardirektantrieb nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (24) mit seinen beiden Endabschnitten (25a, 25b) am jeweils zugeordneten Gehäusedeckel (5a, 5b) gehalten ist.

5. Lineardirektantrieb nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (24) an seinen beiden Endabschnitten (25a, 25b) jeweils einen axial vorspringenden Lagerzapfen (34) aufweist, mit dem er in ein Befestigungsloch (35) des zugeordneten Gehäusedeckels (5a, 5b) eingesteckt ist.

6. Lineardirektantrieb nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuserohr (4) von einem

DE 201 13 014 U1

04.08.01

vorzugsweise aus Aluminiummaterial bestehenden Strangpreßprofilteil gebildet ist.

7. Lineardirektantrieb nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuserohr (4) für den wahlweisen Aufbau des Gehäuses (2) des elektrodynamischen Lineardirektantriebes (1) oder des Gehäuses eines fluidbetätigten kolbenstangenlosen Linearantriebes ausgebildet ist.

8. Lineardirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer (14) am Innenumfang des Aufnahmeraumes (6) und/oder auf dem stangenartigen Stator (24) verschiebbar geführt ist.

9. Lineardirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass außen am Gehäuse (2) eine sich in der Längsrichtung des Gehäuses (2) erstreckende Linearführungseinrichtung (23) vorgesehen ist, an der ein mit dem Kraftübertragungsglied (17) bewegungsgekoppeltes Führungsteil (22) linear verschiebbar gelagert ist.

10. Lineardirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (24) das Magnetsystem (27) und der Läufer (14) das Spulensystem (28) aufweist.

11. Lineardirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (24) das Spulensystem (28) und der Läufer (14) das Magnetsystem (27) aufweist.

DE 201 13 014 U1

04-08-01

12. Lineardirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer (14) vom Stator (24) coaxial durchsetzt ist.

13. Lineardirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (24) eine aus Vollmaterial bestehende oder zumindest partiell hohl ausgebildete Trägerstange (33) aufweist, auf der das Antriebssystem (26a) in coaxialer Anordnung sitzt und die vorzugsweise eine Magnetfeld-Rückschlußeinrichtung bildet.

14. Lineardirektantrieb nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Antriebssystem von einer coaxial angeordneten und vorzugsweise aus nicht magnetisierbarem Material bestehenden Hülse (44) umschlossen ist.

DE 201 13 014 U1

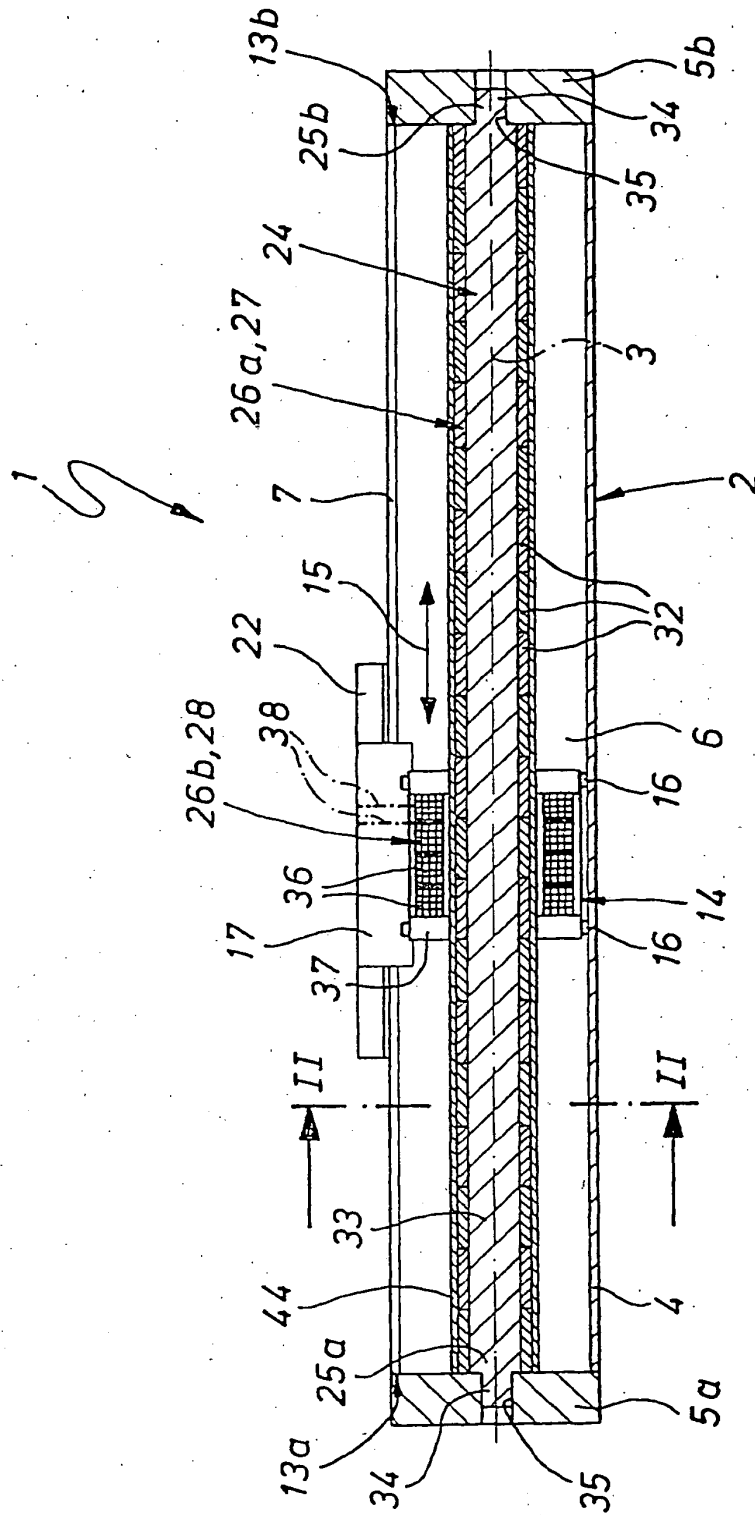
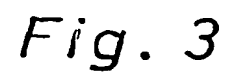


Fig. 1





①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑧7 EP 0 594 757 B 1

⑩ DE 692 25 972 T 2

⑤ Int. Cl.⁶:
H 02 K 41/02
F 15 B 15/00
H 02 K 7/00

D6

DE 692 25 972 T 2

②1 Deutsches Aktenzeichen:	692 25 972.4
⑧6 PCT-Aktenzeichen:	PCT/GB92/01277
⑧6 Europäisches Aktenzeichen:	92 915 909.3
⑧7 PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 93/01646
⑧6 PCT-Anmeldetag:	13. 7. 92
⑧7 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	21. 1. 93
⑧7 Erstveröffentlichung durch das EPA:	4. 5. 94
⑧7 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	17. 6. 98
④7 Veröffentlichungstag im Patentblatt:	18. 2. 99

③0 Unionspriorität:

91151803	12. 07. 91	GB
91256149	02. 12. 91	GB

⑦3 Patentinhaber:

Denne Developments Ltd., Bournemouth, GB

⑦4 Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
Anwaltssozietät, 80538 München

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:

AT, CH, DE, DK, ES, FR, GB, IT, LI, NL, SE

⑦2 Erfinder:

DENNE, Phillip, Raymond, Michael 7 Lyndon Gate,
Bournemouth BH2 5LW, GB

⑤4 Elektromagnetische Vorrichtung zum Erzeugen einer Linearbewegung

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 692 25 972 T 2

17.09.98

EP 92 915 909.3

Anmelder: DENNE DEVELOPMENTS LTD.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektromagnetische Vorrichtung zum Erzeugen von linearer Bewegung.

Herkömmlicherweise wird lineare Bewegung unter Einsatz einer hydraulischen oder pneumatischen Kolben- und Zylindervorrichtung oder unter Einsatz einer Drehvorrichtung, wie beispielsweise eines Elektromotors mit einem Mechanismus zur Umwandlung von Dreh- in Linearbewegung erzeugt. Jede dieser Lösungen hat ihre Stärken und Schwächen. In den letzten Jahren ist eine weitere Lösung, der Gleichstrom- oder Wechselstrom-Linearmotor insbesondere dort eingesetzt worden, wo genaue Positionierung einer beweglichen Last erforderlich ist, da für einen Linearmotor kein Mechanismus zum Umwandeln von Dreh- in Linearbewegung erforderlich ist. Ein Nachteil dieses Linearmotors besteht darin, daß damit ein Betätigungsglied entsteht, das asymmetrisch ist und ein starkes Kräfteungleichgewicht zwischen dem Läufer und dem Stator aufweist, da sie sich gegenseitig anziehen. Des weiteren sind Linearmotoren für die Anordnung in einer horizontalen Position ausgelegt und bewegen die Last auf Bahnen oder Auflagen in oder neben dem Motor.

Die vorliegende Erfindung soll eine elektromagnetische Vorrichtung zum Erzeugen von linearer Bewegung schaffen, die in der Lage sein muß, lineare Bewegung in Winkeln zwischen der Horizontalen und der Vertikalen zu erzeugen und die vollständig eingeschlossen sein muß, ohne daß erhebliche magnetische Streufelder auftreten.

Die europäische Patentanmeldung EP-A-0280743 beschreibt eine elektrische Spritzgießmaschine, die einen elektrischen Linearmotor enthält. Der Elektromotor umfaßt eine nicht-magnetische Welle, an der Joche und Permanentmagneten abwechselnd angebracht sind, sowie einen ringförmigen Stator, in dem Kerne und gedruckte Spulen abwechselnd in einem äußeren Zylinder angeordnet sind, wobei sich die Welle durch den Stator hindurch erstreckt. Wenn ein Dreiphasenstrom an die Spule angelegt wird, bewegt sich die Schnecke der Spritzgießmaschine, die mit der Welle verbunden ist, zusammen mit der Welle und führt das Spritzgießen aus.

Die europäische Patentanmeldung EP-A-0314493 beschreibt einen elektromagnetischen Linearmotor, bei dem das Innere des Zylinders mit einem Fluidreservoir in Verbindung steht, und sie betrifft insbesondere eine Dichtungsanordnung, die das Austreten von Fluid um einen Kolben herum verhindert, wenn der Kolben angetrieben wird und sich in einem Zylinder hin und herbewegt, indem die Enden des Kolbens unterschiedlichen Fluidrücken ausgesetzt sind. Der Kolben wird mit einer einzelnen Windung um ein Antriebsteil herum, das den Läufer bildet, und einer einzelnen Statorwicklung in dem Zylinder angetrieben.

Weitere Typen elektromagnetischer Vorrichtungen zum Erzeugen linearer Bewegung sind in DE-A-2229711 sowie EP-A-221228 offenbart.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine elektromagnetische Kolben- und Zylindervorrichtung geschaffen mit einer Zylinderbaugruppe mit einem länglichen Zylinder aus magnetischen Material und einem Mittel zum Erzeugen eines Zylinder-Magnetfeldmusters, umfassend eine Reihe von wechselnden, radialgerichteten Magnetpolen über die Länge des Zylinders, ein Kolbenelement, das in der Zylinderbaugruppe montiert ist und ein Mittel zum Erzeugen eines radialen Magnetfeldmusters zum Zusammenwirken mit dem Zylinder-Magnetfeldmuster aufweist, so dass sich die Magnetfelder in dem Zylinder befinden, und ein Steuermittel zum Modulieren der Stärke und Polarität von wenigstens einem der Zylinder- oder Kolben-Magnetfeldmuster, um auf diese Weise einen relativen Linearschub zwischen der Zylinderbaugruppe und dem Kolbenelement zu bewirken, wobei das Mittel zum Erzeugen des Zylinder-Magnetfeldmusters ein Mittel zum Erzeugen radialer Magnetfelder im Inneren des Zylinders umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass das Kolbenelement eine kürzere axiale Länge hat als der Zylinder, dadurch, dass der Zylinder an beiden Enden durch Endelemente verschlossen ist, wobei das Kolbenelement mit einer Antriebsstange versehen ist, die durch eines der Endelemente verläuft, und dadurch, dass das Innere des Zylinders mit einem Fluidreservoir in Verbindung steht.

Bei einigen Ausführungen der Erfindung kann das Kolben-Feldmustererzeugungsmittel radial magnetisierte Dauermagnete umfassen, die axial voneinander beabstandet sind, um einen mittleren Pol einer Magnetisierungsrichtung und zwei weitere Pole zu bilden, die auf beiden Seiten des mittleren Pols beabstandet sind und die einander entgegengesetzte Magnetisierungsrichtung haben.

Vorzugsweise sollten keine Klemmkräfte oder spezielle Bügel für die Vorrichtung erforderlich sein.

Bei der bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung handelt es sich um eine elektromagnetische Vorrichtung, die als Kolben- und Zylindervorrichtung arbeitet. Der Stator der Vorrichtung kann als der Stator eines herkömmlichen Motors betrachtet werden, der in einer Ebene gespalten ist, die durch die Achse des Läufers hindurch verläuft, und abgerollt wurde. Die nicht geschnittenen Enden des Stators werden nunmehr zusammengebracht, so daß ein röhrenförmiger Stator entsteht, der einen Zylinder bildet. Das Kolbenelement ist mit ringförmigen Magnetabschnitten versehen.

Dadurch entsteht eine Vorrichtung, die die folgenden Merkmale aufweist:

1. Lageunabhängigkeit

Während des Erzeugens von Schub kann das Stellglied horizontal und vertikal über große Winkel schwenken.

2. Vollständig umschlossen

Das Stellglied kann unter ungünstigen äußeren Bedingungen (Öl, Feuchtigkeit und/oder Schmutz) arbeiten, und es treten in keiner Position der Aktuatorstange nennenswerte magnetische Streufelder von dem Stellglied auf.

3. Axialsymmetrie

Es sind keine Klemmkräfte oder speziellen Formen des Stellgliedsystems vorhanden, die einen Betrieb in einer beliebigen Position oder Drehung der axialen Stange erschweren. Vorzugsweise sollte sich die Schubstange ungehindert drehen können.

4. Mittlerer Hub

Hübe von 0,2 Meter bis 1 Meter können ohne weiteres erzeugt werden, und es ist möglich, einen Stößel mit einem Hub von 3 Meter zu konstruieren.

5. Hoher Wirkungsgrad

Einer der Hauptvorteile besteht darin, daß der Stößel einen hohen Wirkungsgrad bei der Umwandlung elektrischer in mechanische Energie aufweist. Die einfache Erzeugung von ausreichendem Schub ohne Berücksichtigung des Energieverbrauchs ist nicht zufriedenstellend.

5. Einfach und kostengünstig

Die Funktionsbedingungen für die Maschinen, die als vorrangige Einsatzgebiete für diese Stellglieder angesehen werden, machen einen hohen Grad an Zuverlässigkeit erforderlich. Das Stellglied weist eine minimale Anzahl beweglicher Teile und Verschleißteile wie beispielsweise Gleitdichtungen und Lager auf.

Des weiteren kann eine derartige Vorrichtung bei der Konstruktion eines kombinierten elektromagnetisch/pneumatischen Stellgliedes eingesetzt werden. Der pneumatische Teil des Stellgliedes erzeugt eine statische Kraft, die bei geringem oder gar keinem Energieverbrauch unendlich aufrechterhalten werden kann, während der elektromagnetische Teil, der gleichzeitig arbeitet, außerordentlich schnelle Veränderungen der resultierenden Kraft des Stellgliedes erzeugen kann und daher die Steuerung und Genauigkeit ermöglicht, die das obengenannte Stellglied nicht aufweist.

Je nach dem Einsatz kann der pneumatische Teil gegen ein anderes verdichtbares Fluid ausgetauscht werden. Es ist anzumerken, daß das Fluid in dem Zylinder-Stellglied an sich nicht verdichtbar sein muß, wenn es mit einem Reservoir verbunden ist, das mit Luft oder einem anderen verdichtbaren Gas gefüllt ist, dessen Druck durch die Bewegung der nicht verdichtbaren Flüssigkeit verändert wird, so daß die Flüssigkeit selbst verdichtbar wirkt. Als Alternative dazu kann das Fluid in dem Stellglied durch einen federgespannten Kolben oder eine andere federnde Fläche eines Reservoirs eingeschränkt werden.

Zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung werden im folgenden Ausführungen derselben als Beispiel unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei:

- Fig. 1 ein Diagramm der grundlegenden elektromagnetischen Kräfte ist;
- Fig. 2 schematisch die Grundidee eines elektromagnetischen Stellgiedes gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;
- Fig. 3 und 4 das Stellglied in Fig. 2 detaillierter zeigen;
- Fig. 5 ein Schema ist, das das Prinzip eines phasengesteuerten Stellgiedes veranschaulicht;
- Fig. 6 eine Abwandlung des in Fig. 2 dargestellten Grundprinzips zeigt;
- Fig. 7 eine Abwandlung der in Fig. 6 dargestellten Abwandlung zeigt;
- Fig. 8 eine weitere Alternative zu den in Fig. 6 und 7 dargestellten Abwandlungen zeigt;
- Fig. 9 und 10 zwei Umsetzungen des in Fig. 2 dargestellten Grundprinzips zeigen;
- Fig. 11 und 11a zwei Konstruktionen eines Kolbens gemäß der vorliegenden Erfindung zeigen;
- Fig. 12 schematisch Teile von drei Konstruktionen eines Kolbens gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;
- Fig. 13 die Magnetaordnung vier verschiedener Ausführungen des in Fig. 2 dargestellten Grundprinzips zeigt;
- Fig. 14 einen Grundaufbau eines Bürstenkommutators für eine bewegliche Magneteinheit zeigt;
- Fig. 15 ein Schema der mechanischen Kommutierung für eine bewegliche Spuleneinheit zeigt;

- Fig. 16 ein Schema der Kommutierung durch eine 4-Spulen-Anordnung zeigt, wenn sie sich in bezug auf eine typische Magnet/Abstandshalter-Anordnung bewegt;
- Fig. 17 und 18 alternative Antriebseinheiten zeigen;
- Fig. 19 und 20 alternative Rückführungsanordnungen zeigen;
- Fig. 21 eine weitere Ausführung der vorliegenden Erfindung zeigt;
- Fig. 22 eine Möglichkeit der Herstellung elektrischer Verbindung mit einem beweglichen Kolben zeigt;
- Fig. 23 schematisch veranschaulicht, wie eine in Fig. 2 dargestellte Vorrichtung zusammengesetzt wird;
- Fig. 24 im Detail einen Teil einer Kolbenbaugruppe gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt; und
- Fig. 25 im Detail eine Statorbaugruppe gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt.

Elektromagnetische Kräfte

Elektromagnetische Schieber unterscheiden sich von Elektromotoren nicht nur dadurch, daß die elektromagnetischen Kräfte so angeordnet sind, daß sie lineare Bewegung und kein Drehmoment erzeugen, sondern auch dadurch, daß die Energie durch eine große Kraft bei niedriger Geschwindigkeit und nicht durch eine bei hoher Geschwindigkeit wirkende kleine Kraft erzeugt wird.

Die in einem Magnetkreis erzeugte Kraft ist das Produkt aus dem Magnetfluß B und dem elektrischen Strom I , der in einem Leiter im rechten Winkel zum Magnetfluß der Länge L fließt (Fig. 1). Für große Kräfte sind daher große Ströme und erhebliche Leiterlängen erforderlich.

In MKS-Einheiten entspricht die Kraft in Newton dem Produkt aus dem Magnetfluß in Tesla, dem Strom in Ampere und der Länge des Leiters in Metern. Es gibt eine Reihe von magnetischen Materialien, die eine Restflußdichte aufweisen, die zwischen 0,4 Tesla und 1,2 Tesla liegt, d.h., die erreichbare Flußdichte im Bereich der Spule liegt zwischen 0,15 Tesla und 0,6 Tesla, wobei dies vom Wirkungsgrad des magnetischen Materials abhängt, das im Dauermagnetsystem eingesetzt wird.

Unvorteilhafterweise steigen die Kosten für den Magneten erheblich schneller als die Flußdichte zunimmt. Wenn beispielsweise ein Ferritmagnet verwendet wird, ist es möglich, ein Feld von ungefähr 0,2 Tesla im Bereich einer Spule für ungefähr 50 britische Pennies zu erzeugen, wobei eine Erhöhung dieses Flusses auf 0,6 Tesla ungefähr 100 britische Pfund kostet. Normalerweise ist es möglich, den Gesamtfluß (und damit die Gesamtkraft, die erzeugt werden kann) um einen Faktor 3 zu erhöhen, indem die Fläche des Magneten vergrößert wird, statt die Flußdichte mit der gleichen Fläche zu erheblich höheren Kosten zu erhöhen. Dadurch erhöht sich das Gewicht der Stellgliedbaugruppe, und gleichzeitig nimmt die Induktivität der Stellgliedspulen um einen Faktor 9 und damit die Zeitkonstante des Steuerungssystems um eine Größenordnung zu.

Die Hauptaufgabe dieses Dokuments besteht darin, eine Reihe möglicher Stellgliedssysteme unter Verwendung von kostengünstigen Magnetmaterialien herzustellen, und nicht darin, eine besonders kompakte Stellgliedbaugruppe herzustellen. Da auf einigen Einsatzgebieten die Größe und das Steuerverhalten an erster Stelle stehen können, wird entsprechend auf den Einsatz von Materialien mit hoher Flußdichte eingegangen.

C. Dauermagnetsystem

Bei Dauermagnetsystemen wird das Magnetfeld, mit dem ein Strom in der Spule zusammenwirkt, durch eine Reihe von Dauermagneten erzeugt, deren Form und Anordnung zusammen mit dem Stahl des Stellgliedschiebers die Hauptparameter der Stellgliedkonstruktion bestimmen.

Dauermagnetsysteme weisen die folgenden Vorteile auf:

1. Hoher Wirkungsgrad

Es muß keine Elektroenergie für die Erzeugung von Magnetfeldern durch Spulen mit Eisen-Polstücken zugeführt werden.

2. Schnelles Ansprechen

Die Erregung von Feldspulen macht häufig den Aufbau von Strom in einer Spule mit hoher Induktivität erforderlich, wobei dafür erhebliche Zeit erforderlich ist, wodurch sich das Ansprechverhalten des Systems verschlechtert. Im Unterschied dazu weist die Läuferspule normalerweise niedrige Induktivität auf, und wenn das Magnetfeld aufgrund eines Dauermagnetkreises bereits vorhanden ist, kann der Schub erheblich schneller verändert werden, indem der Strom in dem "Läufer" verändert wird.

3. Geringes Gewicht

Dauermagnetmaterialien sind weniger dicht als Eisen und erheblich weniger dicht als Kupfer, d.h. die Materialien, die in großer Menge eingesetzt werden müßten, um sie zu ersetzen. Ein Vorteil für die Einsatzzwecke, um die es hier geht, besteht darin, daß die Stellgliedeinheit relativ leicht ist.

4. Dynamisches Bremsen

Das Vorhandensein eines Dauermagnetsystems ermöglicht prinzipiell die Ausführung des Läufers als passives Element, das mit einem Lastwiderstand eines ausgewählten Wertes kurzgeschlossen wird, so daß Bewegung der Läuferspule durch die Dauermagnetfelder bewirkt, daß ein Strom fließt, der die Bewegung dieser Spule abbremst. Durch Symmetrie ist dynamisches Bremsen auch bei einem Kolbensystem mit beweglichen Magneten möglich, wobei dann die Statorwicklungen kurzgeschlossen werden, um Energieverlust zu bewirken. Eine derartige Anordnung weist eindeutig einen hohen Wirkungsgrad auf, insbesondere, wenn die abgeleitete Energie wieder dem ursprünglichen Energiezufuhrsystem zugeführt werden kann.

D. Elektromagnetsysteme

Obwohl sich die konstruktiven Aktivitäten gegenwärtig hauptsächlich auf Stellglieder in Form von Kolben- und Zylindervorrichtungen mit Dauermagneten konzentrieren, die die im vorangehenden Abschnitt aufgeführten Vorteile aufweisen, liegt auf der Hand, daß es unter bestimmten Umständen vorteilhaft sein kann, die Dauermagneten durch ein Elektromagnetsystem zu ersetzen. Der Hauptvorteil eines derartigen Aufbaus besteht darin, daß sowohl der Stator als auch der Läufer (bzw. "Kolben") mit Wechselstromquellen mit bekannter und steuerbarer Phasenbeziehung gespeist werden können.

Diese Anordnung weist den potentiellen Vorteil auf, daß eine Verbindung mit einem beweglichen Teil durch induktive Kopplung hergestellt werden kann, so daß unter bestimmten Umständen keine Schleifringe oder Kommutatoren erforderlich sind. Die Konstruktion kann ähnliche Vorteile aufweisen, wenn das Stellglied in einem abgeschlossenen Behälter oder in einer korrodierenden Atmosphäre angeordnet ist, in der es zu starker elektrolytischer Wirkung kommt. Gleichströme und -spannungen in einem solchen System würden die Korrosion verstärken, während die Wirkungen von Wechselspannungen einer Polarität wenige Millisekunden später durch den Einsatz der entgegengesetzten Polarität aufgehoben würden.

Eine allgemeine Stellgliedkonstruktion ist in Fig. 3 dargestellt, wobei ein Zylinder 30 aus magnetischem Material, wie beispielsweise Stahl eine Vielzahl ringförmiger Spulen 31 aufnimmt, die durch Polstückringe 32 voneinander getrennt werden. Ein Kolbenelement 35 gleitet in der mittigen Bohrung des Zylinders 30 und umfaßt eine zylindrische Stahlhülse 336, an deren Außenseite eine Vielzahl von segmentierten Windungen 37 angebracht ist. Ströme in den Statorwindungen erzeugen radiale Magnetfelder, die mit Strömen in den Kolbenspulen zusammenwirken, deren Phase entsprechend der Position des Kolbens und der erforderlichen Schubrichtung gesteuert wird. Das Spiegelbild dieser Konstruktion stellt einen Aufbau dar, bei dem in dem Kolben fließende Ströme radiale Magnetfelder erzeugen, die mit Strömen in den segmentierten Windungen des Stators zusammenwirken. Der Kolben der spiegelbildlichen Konstruktion ist in Fig. 4 dargestellt, wobei der Kolben einen Stahlkern 40 umfaßt, der mit ringförmigen Polstücken 41 und Spulen 42 versehen ist.

E. Gleichstromsysteme

Die Integration eines Dauermagneten in das Stellglied bedeutet nicht zwangsläufig, daß das Spulenelement des Stellgliedes mit einem Gleichstromsystem (einem von Null abweichenden mittleren Strompolzyklus) erregt wird. So ist beispielsweise ein Stellglied vorstellbar, bei dem das Kolbenelement des Schiebers Permanentmagneten trägt, die mit einem Feld veränderlicher Frequenz zusammenwirken, das sich auf der Achse des Schiebers hin und herbewegt, und mit dem die Geschwindigkeit des Dauermagnetsystems synchronisiert wird. Als Alternative dazu kann das Stellglied so aufgebaut sein, daß es den Kolben in Schritten zwischen Magnetarretierpositionen bewegt.

Wenn der Einsatz des Stellgliedes nicht sehr empfindlich für Brummen ist und/oder unter bestimmten Bedingungen in Resonanz mit einer harmonischen oder subharmonischen der Netzfrequenz ist, ist es natürlich möglich, daß das Stellglied mit ungesiebt gleichgerichteten Wechselstrom (100 Halbzyklen pro Sekunde) statt mit einem gleichbleibenden Gleichstrom mit vernachlässigbarer Welligkeit gespeist wird.

Die Verfügbarkeit von schnellschaltenden Leistungstransistoren gestattet es ebenfalls davon auszugehen, daß die Bedeutung von "Gleichstrom" auch eine Zufuhr von Strom von einer Quelle einschließt, welche aus einer Reihe unipolarer Hochfrequenzimpulse besteht, die von einem Schalttransistor zugeführt werden.

In Zusammenhang mit den vorliegenden Konstruktionen ist "Gleichstromsystem" so zu verstehen, daß das Magnetfeld unidirektional oder zeitinvariant ist.

Als Alternative können die Windungen des Stators der in Fig. 3 bzw. 4 dargestellten Konstruktion mit Gleichstrom (gleichbleibend, gepulst oder ungesiebt gleichgerichtet) gespeist werden, so daß sie mit Strömen in dem Kolben zusammenwirken, die auf ähnliche Weise abgeleitet und gesteuert sind.

F. WECHSELSTROMSYSTEME

Es ist bereits auf die potentiellen Vorteile eines wechselstromgespeisten elektromagnetischen Stellgliedes unter erschwerten Umständen eingegangen worden. Die Steuerung der Stellkraft kann hier entweder durch die Veränderung der relativen Phasen der in dem Stator und dem Kolben fließenden Ströme oder durch die Veränderung wenigstens einer der

Stromamplituden bewirkt werden. (Wenn beide Ströme zusammen verändert werden, ändert sich die Kraft annähernd im Quadrat der Amplitude).

Es ist klar, daß wenn die Kraft durch die Phasenveränderung gesteuert wird, die minimale Kraft (theoretisch null) erzeugt wird, wenn die Phasen der beiden Ströme um 90° auseinander liegen, und ein Maximum erreicht wird, wenn die Ströme genau phasengleich sind. Es ist jedoch offensichtlich eine Energieverschwendung, dem System Strom zuzuführen, wenn keine Kraft erzeugt wird.

Es gibt jedoch eine interessante Abwandlung dieser Technologie, die die Konstruktion eines Stellgliedes ermöglicht, das positionsabhängig ist. Das heißt, in jeder beliebigen Position kann die Phase des Stroms in dem Kolben so reguliert werden, daß sie orthogonal zu dem Strom in dem Stator ist, wobei dies jedoch nicht zutrifft, wenn sich der Kolben eine kurze Strecke bewegt. Die Anordnung sieht eine Welle vor, die sich auf dem Stator mit der gleichen Geschwindigkeit wie eine Welle bewegt, die sich in dem Kolben ausbreitet. Dies setzt natürlich voraus, daß der Erregungsstrom sowohl für den Stator als auch den Kolben mehrphasig ist, und aus wenigstens zwei Phasen besteht, die räumlich getrennten Spulensystemen zugeführt werden. Eine derartige wandernde Welle kann aus einer Einphasenspeisung durch ein kapazitiv abgestimmtes Spulensystem erzeugt werden, in dem der Strom um 90° phasenversetzt zu dem Strom in den direkt erregten Spulen fließt.

Es wird ersichtlich werden, daß, wenn der Kolben in bezug auf die Statorwicklung stationär ist, die Gesamtwirkung der beiden Wanderwellen eine gleichbleibende Kraft auf den Kolben in einer Richtung oder der anderen erzeugt, wobei die Amplitude der Kraft eine Funktion der Amplitude und der relativen Phase der Ströme in dem Stator und dem Kolben ist.

Wenn nunmehr der Kolben stationär ist, sollte die Phase der Erregung der Kolbenspulen so reguliert werden, daß die über den Kolben wandernde Welle ständig 90° phasenversetzt zu der über den Stator wandernden Welle ist. Es entsteht daher keine resultierende Kraft zwischen den beiden Systemen, und an dieser Position des Kolbens wird keine Kraft erzeugt. Diese Situation ist in Fig. 5 dargestellt.

Wenn jedoch der Kolben nach rechts oder nach links verschoben werden sollte, sind die elektromagnetischen Felder nicht mehr rechtwinklig, und es wirkt eine Kraft auf den Kolben, die bei kleinen Verschiebungen den Kolben in den ursprünglichen Zustand ohne Kraft

zurückführt. Wenn der Kolben um mehr als 90° (räumlich) gegenüber einer Null-Kraft-Position verschoben wird, wird die Richtung der resultierenden Kraft auf den Kolben umgekehrt, und er wird sogar noch weiter weg in den nächsten Null-Zustand verschoben.

Die Eigenschaften dieser Art von Stellgliedsystem ermöglichen eine Positionssteuerung mit Eigenstabilität und schaffen ein Mittel zum Erzeugen von Verschiebungen des Kolbens in beiden Richtungen mit veränderlicher Geschwindigkeit ohne Veränderung der Erregungsfrequenz des Stellgliedes selbst. (Natürlich bewirkt eine auf den Kolben wirkende langsame Phasenvoreilung, daß der Kolben in der Richtung der voreilenden Phase trifft.)

G. INDUKTIONS-STELLGLIEDER

Im vorangegangenen Abschnitt, in dem es um Wechselstrom-Stellgliedsysteme ging, wurde der Effekt der Wechselwirkung zwischen einer Welle, die über den Stator wandert und einer Welle, die über den Kolben in der gleichen Richtung wandert, beschrieben, wobei sich ergab, daß durch Veränderung der Phasenbeziehung zwischen ihnen die auf den Kolben wirkende Kraft in positivem oder negativem Sinne moduliert werden kann.

Es ist, wie in Fig. 6 dargestellt, auch eine Kolbenspule denkbar, bei der es sich effektiv um eine Reihe von Hülse aus Kupfer 60 handelt, in denen Ströme induziert werden, die den Kolben in der Richtung der Wanderwelle in dem Stator ziehen, die der in Fig. 3 dargestellten ähnelt. Die auf den Kolben wirkende Kraft kann nun bezüglich ihrer Stärke und Richtung durch Phasen- und Amplitudenmodulation einer der Statorphasen verändert werden, wodurch sie der primären Erregungsphase vorausschneilt oder nachschneilt und so die Stärke und Richtung der induzierten Ströme in den Kolbenhülsewindungen verändert.

Bei einer umgekehrten Konstruktion wie sie in Fig. 7 dargestellt ist, besteht der Stator aus einem Stahlzylinder 70 mit einer Reihe von Kupferringen 71, in denen Strom durch ein Wanderwellenfeld induziert wird, das durch 2- oder 3-Phasenwindungen 72 an dem Kolben 73 erzeugt wird. Diese Konstruktion läßt sich kostengünstiger herstellen und verbraucht weniger elektrische Energie.

H. SERVOINDUKTIONSSPULEN

Eine Abwandlung der in Fig. 7 beschriebenen Anordnung ist in Fig. 8 dargestellt, wobei hier die in den Kolbenwindungen 72 fließenden Ströme die Ausgänge von Leistungsverstärkern sind, deren Eingänge von Spulensensoren 75 abgeleitet werden, die die Signale von dem Stator-Wanderwellensystem aufnehmen.

Der Vorteil einer derartigen konstruktiven Verbesserung besteht darin, daß starke Wechselwirkung zwischen den Kolben- und den Statorfeldern aufrechterhalten werden kann, wenn die Gleitgeschwindigkeit sehr gering ist, da der Verstärker benutzt werden kann, um den Kolbenstrom auf den maximalen Pegel auszusteuern, wenn nur eine geringe Spannung der Abnahmespule erzeugt wird. (Die Spannung in der Abnahmespule ist eine Funktion der Geschwindigkeit des Kolbens und der Wanderwelle in dem Stator zueinander.)

(Eine umgekehrte Anordnung ist ebenfalls möglich, bei der Abnahmespulen und Verstärker gesteuerte Windungen in dem Stator eingesetzt werden, wobei der Kolben erregt wird.)

J. SYSTEME MIT BEWEGLICHEM MAGNET

Analog zu dem Lautsprechersystem, von dem das vorliegende Spektrum elektromagnetischer Wellenglieder abgeleitet wurde, wird angenommen, daß das bewegliche Element der Kolben des kombinierten pneumatischen und elektromagnetischen Schiebersystems ist, und das "stationäre" Element wird als das angenommen, das mit der Außenfläche des Zylinders verbunden ist, sei es nun von kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt. Es wird jedoch die Gelegenheit ergriffen, darauf hinzuweisen, daß es mitunter vorteilhaft sein kann, die Krafterelemente im umgekehrten Sinn zu koppeln, so daß das Kolbenelement an einem stationären Objekt verankert ist, und das bewegliche Objekt mit der Hülse verbunden ist. Es wird weiterhin darauf hingewiesen, daß das stationäre Element nicht notwendigerweise eine äußere Hülse ist, sondern auch eine zentrale Stange sein kann, auf der sich das "Kolben"-Element des Stellgliedes bewegen kann. (Eine derartige Konstruktion ist vor kurzem von einer britischen Firma offenbart worden).

Im Kontext der vorliegenden Erläuterung ist das Element, das als der "Kolben" bezeichnet wird, in der Richtung, in der der Schub wirkt, so bemessen, daß es kürzer ist als der "Stator" in der gleichen Richtung. Ein "System mit beweglichem Magnet" bedeutet daher, daß die Abmessungen des Elementes, das die das Magnetfeld erzeugende Teile trägt (seien es nun Dauermagneten oder Elektromagneten) kleiner sind als die jedes Elementes,

das den Leiterabschnitt trägt, an dem der Magnetfluß aufgenommen wird, um die erforderliche Kraft zu erzeugen. Fig. 9 zeigt eine Anordnung, bei der ein Kolben 90 in einem Zylinder 91 gleitet, der ringförmige segmentierte Statorwicklungen 82 trägt. Der Kolben 90 trägt radial magnetisierte Ringmagneten 93.

Das Hauptmerkmal eines Systems mit beweglichem Magneten besteht darin, daß in dem stationären Element eine Einrichtung vorhanden sein muß, mit der der Magnetfluß, der von dem beweglichen Magneten ausgewählt, durch einen magnetischen Weg mit niedriger Reluktanz zurückgeführt werden kann. Dies ist mitunter schwer zu bewerkstelligen.

Es ist weiterhin anzumerken, daß, wenn das bewegliche Magnelement seinen Wirkungsweg durchläuft, die magnetische Flußverkettung durch die Teile des Stators hindurch sich aufgrund dieser Bewegung verändert, und die Veränderung des Flusses zur Erzeugung von Wirbelströmen in Metallteilen führen kann, die damit verbunden sind. Es sind daher Maßnahmen erforderlich, um diesen Wirbelstromeffekt aufzuheben, der ansonsten zur Verschwendung von Energie im Widerstand der Metallteile führen würde. Zu derartigen Maßnahmen kann beispielsweise die Unterbrechung eines kontinuierlichen Metallweges durch das Anbringen eines Schlitzes im rechten Winkel zum Weg gehören, auf dem der Wirbelstrom ansonsten fließen würde.

Analog zu dem Lautsprechersystem mit beweglicher Spule wird das Magnetfeld normalerweise radial (bei einem kreisförmigen Magnetsystem) oder im rechten Winkel zur Bewegungsstrecke (in einem geradlinigen elektromagnetischen Stellgliedsystem) aufgenommen.

K. SYSTEME MIT BEWEGLICHER SPULE

Wie im vorangegangenen Abschnitt erläutert, wird davon ausgegangen, daß die Abmessungen der "beweglichen" Teile des Systems erheblich geringer sind als des "Stator"-Teils des Systems. Bei einem Stellglied mit langem Hub reduziert sich die Wahl zwischen einer beweglichen Spule und einem beweglichen Magnetsystem häufig auf die Abwägung der Kosten der Magnelemente gegenüber den Kosten des Kupferspulensystems. Wenn das Magnetmaterial teuer ist, ist es auf jeden Fall ein Vorteil, eine geringe Anzahl von Magnelementen als den "Kolben" einzusetzen, und eine lange Baugruppe von Windungen als Stator zu konstruieren. Wenn im Unterschied dazu das Magnetmaterial billig, kann es vorteilhaft sein, eine lange Baugruppe von Magneten herzustellen, und eine kleine Windungs-

baugruppe an dem Kolben einzusetzen. Fig. 10 zeigt eine derartige Anordnung, bei der der aus Stahl bestehende Statorzylinder 101 eine Reihe von Ringmagneten 102 trägt, die radial magnetisiert sind. Der Kolben 103 trägt segmentierte Windungen 104.

Des weiteren sind die Kosten der Kommutierung in Erwägung zu ziehen. Wenn die Kommutierung nicht direkt mechanisch ausgeführt wird - mittels einer Bürstenbaugruppe, die an dem beweglichen Kolben angebracht ist und Verbindung mit einem stationären Kommutator an dem Stator herstellt - wird ein System mit beweglicher Spule vorgezogen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Anzahl kommutierter Elemente in einer Baugruppe mit beweglicher Spule geringer ist als die Anzahl der Elemente eines Stators, so daß die Anzahl von Festkörperschaltern ebenfalls verringert wird und damit die Komplexität ihrer Verdrahtung mit einer Steuereinrichtung.

Dennoch ist bei einem System mit beweglicher Spule eine elektrische Verbindung mit einem beweglichen Teil, möglicherweise mit einem Kabel, erforderlich, das bei ständiger Verbiegung Verschleiß unterliegt. (Ein Bürstenkommutatorsystem unterliegt ebenfalls Verschleiß.)

L. EINSEITIGE SYSTEME

Die Kraft, die von einem elektromagnetischen Stellglied erzeugt wird, ist proportional zu $B \times I \times L$, wobei B der magnetische Fluß ist, I der Strom und L die Länge des Leiters. Es kann daher angenommen werden, daß es ein Vorteil ist, den Fluß von dem Magneten zweimal zu schneiden, d.h., einmal am Nordpol und einmal am Südpol, um somit die maximale Fläche zur Verfügung zu haben, über die der Abschnitt der Windung mit dem Fluß und dem Magneten in Wechselwirkung treten kann.

Es ist jedoch auch notwendig, die Reluktanz des Weges des Magnetflusses auf ein Minimum zu verringern, da sich diese Reluktanz so auswirkt, daß sie die Flußdichte verringert, und damit die Kraft, die von einer stromführenden Windung erzeugt wird, die der Fluß schneidet. Ein Optimum wird erreicht, wenn der Magnet auf seinem "BH-max-Punkt" auf der Magnetisierungskurve des magnetischen Materials arbeitet. Wenn der Luftspalt, der durch die Dicke der Windung dargestellt wird, verringert wird, nimmt der Fluß zu, jedoch das Produkt aus Strom und Länge wird geringer, so daß es insgesamt zu keinem Gewinn kommt. Wenn umgekehrt der Luftspalt so vergrößert wird, daß ein größeres Volumen an

Kupfer in den magnetischen Flußweg eingeschlossen wird, wird der Fluß, der den Magneten verläßt, verringert, und es kommt insgesamt zu keinem Gewinn.

Da es schwierig ist, eine mechanische Konstruktion zu schaffen, die Kraft aus einem Spulensystem bezieht, das auf beiden Seiten eines Magnetsystems angeordnet ist (oder umgekehrt), hat vorzugsweise eine Seite des Magneten einen kurzen Weg mit hoher Permeabilität (niedriger Reluktanz), und die andere Seite enthält die Spule in einem Luftspaltsystem, das mit dem Kraftelement gekoppelt ist.

M. STELLGLIEDER MIT KREISFÖRMIGEM QUERSCHNITT

Analog zu dem Lautsprechersystem mit beweglicher Spule und des weiteren zu herkömmlichen Formen pneumatischer Stellglieder ist der für verschiedene Zwecke einsetzbare elektromagnetische/pneumatische Schieber kreissymmetrisch vorstellbar.

Wie in den vorangehenden Abschnitten erläutert, besteht der Hauptunterschied zwischen den Konstruktionen des elektromagnetischen Stellgliedes, die in dem vorliegenden Dokument erläutert werden, und denen, die bereits in der Literatur beschrieben wurden, darin, daß obwohl bei früheren Konstruktionen das Aufspalten und Aufrollen eines herkömmlichen Elektromotorsystems vorgesehen war, die zweite Stufe der topologischen Umwandlung, d.h., das Zusammenbiegen der Seiten des aufgerollten Motorstreifens zur Herstellung eines langen Zylinders, nicht ausgeführt wurde.

Der zylindrische Querschnitt stellt einen Vorteil dar, wenn das Windungssystem auf die Oberfläche eines zylindrischen Kolbens oder einer zylindrischen Hülse gewickelt wird, die anschließend in die äußere Zylinderröhre eingeführt wird, um einen Stator herzustellen.

Wenn das elektromagnetische Stellglied mit einem pneumatischen Stellglied kombiniert wird, vereinfacht sich natürlich der Aufbau eines Luftabdichtungssystems für den elektromagnetischen Kolben bei einer Vorrichtung mit kreisförmigem Querschnitt, da Gleitdichtungen mit kreisförmigem Querschnitt bekannt und ohne weiteres verfügbar sind.

Schließlich weist ein Stellglied mit kreisförmigen Querschnitt den Vorteil auf, daß die Welle des Stellgliedes in jeder beliebigen Richtung in bezug auf die Anbringungshalterung an der äußeren Hülse ausgerichtet sein kann, wobei dies von der Anordnung elektrischer Verbin-

dungen mit einem sich bewegenden Spulenkolben abhängt, wenn ein derartiger eingesetzt wird.

Der Nachteil eines elektromagnetischen Stellgliedes mit kreisförmigen Querschnitt besteht darin, daß die Dauermagneten in radialer Form angeordnet werden müssen, d.h., die Form des Außenumfangs des Magneten muß kreisförmig sein. Obwohl dies bei Ferritmagneten mit einer Flußdichte in der Größenordnung von 0,2 Tesla kein Problem darstellt, erweist sich dies bei Hochleistungsmagneten mit einer Flußdichte in der Größenordnung von 1 Tesla häufig als schwierig.

N. STELLGLIEDER MIT RECHTECKIGEM QUERSCHNITT

Bei vorangehenden anderen Konstruktionen wurden flache elektromagnetische Stellgliedsysteme beschrieben, bei denen sich das bewegliche Element auf einer Auflage über einem Stator oder einer Fläche bewegt, von der es stark angezogen wird, so daß es zu einer starken Auflagerückwirkungskraft kommt. Alternative Konstruktionen weisen zwei Platten auf, zwischen denen die beweglichen Elemente hindurchtreten, so daß die starke abwärtsgerichtete Kraft ausgeglichen wird, jedoch hat sich die Erweiterung dieses Konzepts bisher nicht auf linke und rechte Statoren bzw. Platten erstreckt. Es versteht sich, daß ein derartiges ausgeglichenes System in einem Stahlzylinder mit quadratischem Querschnitt unter Verwendung einer quadratischen "Kolben"-Anordnung hergestellt werden könnte, die ungefähr der bereits erläuterten zylindrischen Struktur entspricht. Dies in Fig. 11 dargestellt, wo vier rechteckige Magneten 111 an einem Stahlkern 112 angebracht sind, so daß ein erster "Ring" entsteht, dessen Außenumfang einen Nordpol aufweist. Ein weiterer "Ring" wird durch vier weitere Magneten 113 hergestellt, der Außenumfang bildet jedoch nunmehr einen Südpol, und die beiden "Ringe" sind durch einen nichtmagnetischen Abstandshalter 115 voneinander getrennt.

Der Vorteil eines Systems mit rechteckigen Querschnitt besteht darin, daß Magneten aller Typen als rechteckige Platten zur Verfügung stehen, so daß ein hochleistungsfähiger Kolben konstruiert werden kann, der einen höheren Schub ermöglicht als eine vergleichbare Ferriteinheit (siehe Fig. 11).

Der Nachteil derartiger Systeme besteht, wie im vorangegangenen Abschnitt bereits angedeutet, darin, daß pneumatische Dichtungen mit quadratischem Querschnitt an den Ecken

des rechteckigen Kolbens ein Problem darstellen, und es erforderlich ist, daß zumindest ein minimaler Radius vorhanden ist. Darüber hinaus besteht ein Problem bei der Steuerung von Spulenwickelmaschinen für Vorrichtungen mit rechteckigem Querschnitt darin, daß sich die Umfangsgeschwindigkeit bei der Drehung schnell ändert.

Polstücke können zu dem Magneten mit rechteckigem Querschnitt hinzugefügt werden, so daß in der gesamten Baugruppe ein kreisförmiger Querschnitt hergestellt wird.

O. SCHEIBEN/PLATTENMAGNETEN

Ohne ein radiales Magnetfeld herzustellen, können Scheiben- oder Plattenmagneten mit der Rückseite zueinander zwischen Polstücken aus Stahl angeordnet werden, um den Kolben der Vorrichtung herzustellen.

Alle magnetischen Materialien lassen sich in der Form von Platten mit kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt herstellen, so daß das Verfahren universell eingesetzt werden kann.

Da jedoch der komplementäre Magnet eine starke entgegenwirkende magnetomotorische Kraft erzeugt, wird der Flußausgang des magnetischen Materials weit unter seine Leistungsdaten gedrückt. Da bei einigen magnetischen Materialien die Gefahr irreversibler Demagnetisierung besteht, kann das Verfahren nicht immer eingesetzt werden. Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, daß es möglich ist, eine Reihe von Magneten auf begrenztem Raum zu schichten, so daß ein Magnetfeld mit hoher Dichte entsteht und erhebliche mechanische Kraft mit einem Spulensystem kompakter Ausmessungen erzeugt werden kann.

Plattenmagneten können in einem alternativen Aufbau in einer Zylindereinheit mit rechteckigem Querschnitt eingesetzt werden. In diesem Fall werden die Magneten so angeordnet, daß die vier Platten ein radiales magnetisches Feld an den vier Flächen des rechteckigen Zylinders erzeugen, wie dies in Fig. 11 dargestellt ist. Der Rückführweg des magnetischen Flusses verläuft über Polstücke aus Stahl oder über Magneten entgegengesetzter Polarität, die die Hälfte der Breite des Hauptmagneten haben, wie dies in Fig. 12(a), (b) und (c) dargestellt ist.

In Fig. 12a ist der Statorzylinder 125, der vorzugsweise aus Stahl besteht, mit den segmentierten Statorwicklungen 126 versehen. Der Kolben umfaßt eine Stahlkern 128, an dem zwei Magneten 129 angebracht sind, die durch einen nichtmagnetischen Abstandshalter 130, beispielsweise aus Aluminium, voneinander getrennt werden. Dadurch wird ein hoher Schub mit einem unausgeglichen Flußweg erzeugt, und der Statorzylinder 125 sowie der Kern 128 müssen dick sein.

Eine alternative Anordnung ist in Fig. 12(b) dargestellt, wobei die Kolbenanordnung dahingehend verändert wurde, daß ein Magnet 129 eingesetzt wird, der zwischen zwei Halbmagneten 129a und 129b angeordnet ist und davon durch zwei Abstandshalter 130 getrennt ist. Damit sind alle Eigenschaften der Anordnungen in Fig. 12a gegeben, jedoch kann der Stahl dünner sein.

Fig. 12(c) zeigt eine weitere Alternative, bei der die Halbmagneten in Fig. 12(b) gegen Polstücke aus Stahl ausgetauscht sind. Dadurch wird der Schub weiter verstärkt.

Da Flachplattenmagneten in jedem beliebigen magnetischen Material hergestellt werden können, können Magneten vom neusten und leistungsfähigsten Typ eingesetzt werden, um Stellglieder mit außerordentlich hohem Wirkungsgrad herzustellen.

P. SEGEMENTIERTE MAGNETE

Da die "natürliche" Form eines Kolbens kreisförmigen Querschnitt aufweist und davon ausgegangen wird, daß der wirkungsvollste Feldaufbau radial ist, kann davon ausgegangen werden, daß die ideale Form eines Magneten in einem derartigen Stellgliedersystem die eines radial magnetisierten Zylinders ist. Magneten dieser Form können theoretisch aus einem Ferrit, wie beispielsweise "Ferroxdur" bestehen, es gab jedoch bisher keinen Bedarf für derartige Magneten auf anderen Einsatzgebieten.

Jedoch sind Magneten, die aus Zylindersegmenten bestehen, außerordentlich weit verbreitet und werden in Elektromotoren in einem breiten Spektrum an Abmessungen eingesetzt. Ein Anbieterkatalog für derartige Materialien enthält viele Beispiele von Segmenten mit Kreisbögen von 160°, 120°, 60° usw. Diese Magneten können so hergestellt werden, daß das Feld mit dem Nordpol nach innen gerichtet oder mit dem Südpol nach innen ge-

richtet magnetisiert ist, und darüber hinaus in einer Vielzahl von Durchmessern und Dicken. Die Magneten sind aufgrund ihres verbreiteten Einsatzes auf anderen Gebieten relativ billig, so daß vorstellbar ist, daß das Verfahren bei einer Konstruktion mit beweglichen Nieten bzw. einer beweglichen Spule, wie sie in Fig. 9 und 10 dargestellt ist, eingesetzt werden kann.

Das System ist in der bevorzugten Konstruktion dargestellt, bei der die Magnetfelder vollständig in der äußeren Stahlhülse des langen Stators eingeschlossen sind. Fig. 13a-13d stellen alternative Konstruktion dar.

Q. EINZELMAGNETSYSTEME

Es wurden bereits System, wie das in Fig. 12c (bzw. seine Spiegelbildflächenausführungen) beschrieben, bei denen der Magnet zwei Rückführwege aufweist, die symmetrisch auf beiden Seiten des Magneten angeordnet sind, so daß er in einem Stellglied mit langem Hub positionunabhängig ist. Die gesamte Luftspaltentfernung vom Pol des Magneten durch die Spule bis zum begrenzenden Zylinder und dann wieder zurück durch die Spule zum flankierenden Polstück darf nicht erheblich größer sein als die magnetische Länge des Ringmagneten. Diese Konstruktion weist den grundlegenden Vorteil auf, daß der Kolben relativ kompakt ist. Die Dichte der Wicklungen ist jedoch aus ähnlichen Gründen sehr hoch, und dadurch nehmen die Komplexität des Spulenschaltersystems und die Kosten für die Spulenanordnung zu.

R. MEHRMAGNETSYSTEME

Die einfachste und kompakteste Kolbenanordnung besteht im Einsatz von zwei Platten (Scheiben)-Magneten nebeneinander und einander gegenüberliegend, die durch Polstücke aus Stahl voneinander getrennt sind. Der Vorteil des farbigen Magnetsystems besteht darin, daß andere Scheibenmagnetpaare hinzugefügt werden können, um den Schub auf Kosten der Kolbenlänge auf jede gewünschte Größe zu erhöhen.

Bei den segmentierten zylindrischen Magneten, die in großer Zahl für Elektromotoren hergestellt sind und daher kostengünstig bezogen werden können, ist es möglich, eine lange zylindrische Hülse zu konstruieren, die abwechselnde Ringe derartiger Magneten aufweist,

so daß eine Konstruktion eines Stellgliedes mit beweglicher Spule mit ausgezeichneter Leistung entsteht.

S. PRESSMAGNETSYSTEM

Bestimmte Hersteller sind mittlerweile in der Lage, ein formbares Magnetmaterial herzustellen, dessen Eigenschaften dem eines Ferritmaterials gleichen. Dadurch wird es möglich, eine Anordnung von Magneten entweder für den Stator oder den Kolben eines Stellgliedes aus halbzyklindrischen Formteilen aus dem magnetischen Material zusammenzusetzen, wobei dadurch die Zeit zur Montage des Stellgliedes erheblich verkürzt wird. (Siehe auch in Abschnitt über Montageverfahren).

T. QUADRATISCH GEWICKELTE SPULEN

Der Begriff "quadratisch gewickelte Spulen" bezeichnet eine Anordnung der Wicklungen der Spule, bei der die Grenze jedes Spulenabschnitts im rechten Winkel zur Achse des Schubs liegt, so daß die Bewegung eines Kolbens, der ein Magnetsystem trägt, durch eines dieser Spulensegmente zu einem plötzlichen Übergang von Null-Flußverketzung zur hoher Flußverketzung und umgekehrt zu einem späteren Zeitpunkt führt.

Es könnte angenommen werden, daß die Steuerung von quadratisch gewickelten Spulen problematisch ist, da es keine Toleranz beim Spulenumschalten zu einem Zeitpunkt gibt, der geringfügig vor oder nach dem liegt, zu dem der Übergang tatsächlich stattfindet. Ein derartiges fehlerhaftes Zeitverhalten kann zu einer wahrnehmbaren Krafttransienten führen.

Eine Untersuchung des Mechanismus der Kommutierung beispielsweise bei einer Vier-Spulen-Stationärmagnet-Konstruktion ergibt jedoch, dass die Kommutierung an einer Position stattfindet, an dem der Spulenfluß nahezu null ist, so daß die Übergangskräfte akzeptabel sind.

U. Schräg gewickelte Spulen

die Toleranz beim Umschalten wird verbessert, wenn die Spulen in einem Winkel zur Senkrechten zur Kraftachse gewickelt werden. Da dies an sich dazu führen würde, daß ein

Drehmoment auf den Kolben um eine Achse im rechten Winkel zur seiner Bewegungslinie wirkt, wird dies durch eine entgegengesetzte Abschrägung der Ausrichtung der Magneten ausgeglichen. (Bei einer zylindrischen Stellgliedkonstruktion macht ein Abschrägen dieser Magneten an dem Kolben einen elliptischen Zylinderquerschnitt erforderlich.)

V. WELLENFÖRMIG GEWICKELTE SPULEN

Bei einer wellenförmig gewickelten Spule wird das Drehmoment, daß durch eine Konstruktion mit schräggewickelter Spule erzeugt wird, durch eine abwechselnde Änderung des Winkels der Abschrägung bei jeder Drehung der Spule ausgeglichen, so daß bei einem Teil der Drehung die Abschrägung nach links verläuft und beim anderen Teil nach rechts. Dadurch wird die Berührungsfläche des Spulensystems mit den Magneten vergrößert, so daß der Übergang allmählicher und weniger abrupt vor sich geht und daher leichter mit Mitteln zu steuern ist, die in untenstehenden Abschnitten des Dokumentes beschrieben werden.

Der Nachteil dieser Spulenordnung besteht wie bei schräggewickelten Spulen darin, daß durch das Vergrößern der Spule die durchschnittliche Flußdichte in der Spule und damit der Schub pro Ampere des Stroms effektiv verringert wird.

W. SCHLITZSPULENBAUGRUPPEN

Bei der Konstruktion von Motorläuferbaugruppen wird der Stahlkern des Läufers häufig so konstruiert, daß er im wesentlichen das gesamte Innenvolumen des Motorzylinders ausfüllt und nur ein schmaler Luftspalt zwischen dem Umfang des Läufers und der Innenfläche des Statoreisens verbleibt. Dadurch verringert sich die magnetische Reluktanz des Motorsystems auf ein Minimum.

Die Läuferwindungen werden dann isoliert und in Schlitze eingefast, die im allgemeinen so angeordnet sind, daß sie parallel zur Achse des Läufers liegen. Obwohl vermutet werden könnte, daß das Eisen auf beiden Seiten des Schlitzes den Fluß von den Läuferwicklungen weggleiten würde und sie wirkungslos machen würde, ist dies nicht der Fall. Die Wechselwirkung zwischen den Magnetfeldern des Stators und denen durch den in den Läuferwicklungen fließenden Strom verursachten tritt in dem Eisen des geschlitzten Läufers auf.

Das Verfahren weist darüber hinaus den Vorteil auf, daß die auf die Leiter der Wicklungen wirkenden Kräfte unmittelbar auf den Stahl des Läufers übertragen werden. Ein ähnliches Verfahren mit geschlitzter Spulenbaugruppe wird auch bei den Statorwicklungen von Elektromotoren mit ebenfalls vorteilhaften Ergebnissen eingesetzt.

In den schematischen Darstellungen in dem vorliegenden Dokument haben wir, wie dies allgemein üblich ist, die Spulenquerschnitte lediglich an der Oberfläche des Eisenkerns des Kolbens (beispielsweise) liegend dargestellt, sie könnten jedoch in Schlitzen liegen, und in Fig. 24 ist eine Darstellung eines Kolbens zu sehen, der eine Reihe von Eisen bzw. Stahlringen oder Umfangsrippen 240 aufweist, die Schlitze haben, die senkrecht zur Schubachse der Baugruppe sind. Diese Rippen bzw. Ringe verringern die Reluktanz des Magnetkreises und übertragen den Schub der Spulenwicklungen 241 auf die gleiche Weise auf die Stellgliedwelle, wie dies die beschriebenen Schlitze der Motorläufer tun.

Die Ringe (und der Stahl des Kolbenzylinders selbst) sind so angeordnet, daß sie einen axialen Schlitz aufweisen, durch den ihr elektrischer Leitweg unterbrochen wird, der ansonsten eine kurzgeschlossene Windung bilden würde, die mit den Stellgliedspulen gekoppelt ist.

Es ist anzumerken, daß die Kupferwicklungen nicht auf die gleiche Weise wie bei einem Drehmotor in Schlitze eines bereits zusammengesetzten Läufers gepreßt werden können. Sie können jedoch als Ringe 241 vorgeformt werden, die abwechselnd mit Rippenringen aus Stahl 240 geschichtet werden können, so daß eine Baugruppe entsteht, die anschließend elektrisch als Abschnitte oder einzelne kommutierte Elemente integriert werden und mit Klemmabschlußringen 242 abgeschlossen werden. Eine reibungsfreie Lagerbuchse 244, beispielsweise aus Teflon, kann vorhanden sein. Fig. 25 stellt das Verfahren zur Herstellung des Stators dar.

Dabei werden Statorwicklungen 250 an einer inneren nichtmagnetischen Hülse 251 mit magnetischen Rippenringen 252 angebracht, die Schlitze aufweisen, die die Wicklungen 250 aufnehmen. Die Baugruppe kann dann entweder in den äußeren Zylinder 255 aus Magnetmaterial geschoben werden oder zwischen Hälften des inneren Zylinders eingeklemmt werden.

X. MECHANISCHE KOMMUTIERUNG

Es ist ein System mit beweglichen Magneten, wie es in Fig. 14 dargestellt ist, vorstellbar, das drei Bürsten 149a, b und c trägt, die an Kommuntatorsegmenten 150 anliegen, die wahlweise Verbindungen zu einer einzelnen Schicht aus Kupferleiter herstellen. Es wird davon ausgegangen, daß an einem Streifen dieses Leiters die Isolierung entfernt worden ist und der Leiter mit einem harten Material plattiert wurde, um dem Verschleiß-effekt der Kommutierung zu widerstehen. Als Alternative dazu ist ein Wicklungsherstellungsverfahren denkbar, bei dem Wicklungssegmente 150 in kurzen Intervallen von einem gedruckten Kommutationsstreifen 151 angeschweißt werden, der in den Spulenkörper eingelegt wird.

Wenn sich die Magnetbaugruppe über die Länge der Statorwicklung nach hinten und nach vorn bewegt, fließt Strom in die mittlere Bürste 149a, fließt parallel nach links und nach rechts und verläßt das System über die Bürsten 149b und 149c, die gemeinsam mit dem gegenüberliegenden Anschluß der Spannungsquelle verbunden sind. Natürlich fließt Strom im Uhrzeigersinn von a nach b und entgegen dem Uhrzeigersinn von b nach c über die Fläche von Magneten entgegengesetzter Polarität. Auf diese Weise sind die in den beiden Wicklungsbereichen erzeugten Schübe gleich und addieren sich. Wenn mehr als zwei Magneten in der Kolbenbaugruppe eingesetzt werden, ist natürlich eine Anordnung von Wicklungssegmenten und Kommutatorbürsten vorstellbar, durch die der bei jeder beliebigen speziellen Konstruktion erzeugte Schub optimiert wird.

Hierbei handelt es sich um eine mechanische Kommutierungsanordnung, die der in vielen Motorsystemen eingesetzten gleicht. Ihr Nachteil besteht darin, daß die Bürstenkontakte nicht perfekt sind, so daß es zu Energieverlust und Verschleiß kommt. Durch den Bürstenverschleiß entsteht Staub, der in dem Luftsystem eines elektro-pneumatischen Stellgliedes nicht weggetragen wird, und es besteht die Gefahr, daß es zu elektrischer Interferenz kommt, die unterdrückt werden muß. Der Kolben kann sich nicht in dem Zylinder drehen, oder die Brüsten lösen sich von dem Kommutatorstreifen.

Dennoch ist das Verfahren erprobt und eignet sich für Einsatzgebiete, bei denen die Kosten niedrig liegen sollen.

Ein spiegelbildlich aufgebautes System, bei dem mechanische Kommutierung für einen Kolben mit beweglicher Spule mit acht Wicklungssegmenten ausgeführt wird, ist in Fig. 15 dargestellt. Da sich die Wicklungen über die Flächen der Magnete bewegen, muß natürlich die Richtung des Stromflusses jeweils um einen Abschnitt auf eine Weise umgekehrt werden, die sich über einen Abstand wiederholt, der dem Zyklus der Magnetanordnung entspricht, d.h., über zweimal $(l + y)$, wobei l die axiale Länge des Magneten ist und y die Breite des Abstandhalters.

Dieser Effekt läßt sich durch den Einsatz von zwei gedruckten Kommutatorstreifen erzielen, die bündig mit der Oberfläche der Schubstange liegen, wie dies in Fig. 15b und 15c dargestellt ist. Die Anordnung weist den zusätzlichen Vorteil auf, daß die Strombürsten 151 außerhalb des Schieberzylinders 153 liegen, und daß dadurch Stromverbindungen mit dem beweglichen Kolben aus flexiblem Draht überflüssig werden. Die Bürsten 151 wirken mit den in die Schubstange eingelegten Kommutatorstreifen 153 zusammen, die ihrerseits mit einer teleskopförmigen Manschette (nicht dargestellt) umhüllt sind.

Y. AUSWAHL DER WICKLUNGSBREITE

Es sind alternative Stellgliedkonstruktionen beschrieben worden, bei denen sich eine Anordnung von Magneten abwechselnder Polarität in bezug auf Wicklungsabschnitte bewegt, bei denen die Stromrichtung entsprechend der augenblicklichen Position der Magneten in bezug auf die Wicklungsabschnitte ausgewählt werden muß. Die Magneten können stationär sein und die Spulen beweglich oder umgekehrt.

Es wird davon ausgegangen, daß die Magneten die axiale Länge l haben und durch nicht-magnetische Abstandshalter mit der axialen Länge y voneinander getrennt werden. Es wird angenommen, daß Wicklungen der axialen Länge x vorhanden sind. Es ist die Auswahl von n und x in Erwägung zu ziehen, wenn l und y gegeben sind.

Es liegt auf der Hand, daß n nicht l sein kann, da, wenn x symmetrisch über jeder beliebigen Zahl abwechselnder Magnetpole liegt, der Gesamtfluß null sein kann, so daß das System "tot" ist. Das gleiche gilt für jede beliebige einzelne Wicklung in der Anordnung von Wicklungen.

Wenn also n gleich 2 ist, fällt der Schub auf (weniger als) 50% eines Maximums für wenigstens eine Position, bei $n=3$ weniger auf als 67% und bei $n=4$ auf weniger als 75% unter gleichen Voraussetzungen. Natürlich verringert sich die Veränderung mit zunehmender Anzahl von Wicklungen.

Wenn jedoch die Anzahl von Wicklungsabschnitten steigt, nehmen auch die Kosten und die Komplexität des Systems durch die Anzahl von Schalttransistoren und ihrer Steuerelemente zu. Für ein Stellglied mit Festkörperkommutierung wird eine annehmbare, minimale Anzahl von 4 Wicklungsabschnitten und eine maximale Anzahl von 10 vorgeschlagen.

Die Länge der Wicklungsabschnitte muß so gewählt werden, daß Harmonische der Länge zwischen Mittelpunkten der Abstandshalter zwischen den Magneten vermieden werden, da ansonsten mehr als ein Wicklungsabschnitt gleichzeitig "tot" sein kann.

Die Gesamtlänge der Wicklungsbaugruppe sollte daher den Abstand zwischen den äußersten Enden der zwei Magneten mit einem Abstandshalter dazwischen abdecken, d.h., $n \cdot x = y + 2l$.

Z. HALL-EFFEKT-KOMMUTIERUNG

Der Nachteil der Anordnung von Magneten, wie sie in Fig. 121a, b bzw. c dargestellt ist, besteht darin, daß die Richtung des Stroms in den Wicklungen von Zeit zu Zeit entsprechend der sich verändernden Position der Magnetbaugruppe in bezug auf die Wicklungen umgekehrt werden muß. So müssen beispielsweise bei dem in Fig. 9 dargestellten System mit beweglichen Magneten die Wicklungen in Segmente unterteilt werden, und eine Kommutierungsanordnung muß so ausgeführt werden, daß, wenn jede Wicklung von einem Nordpol zu einem Südpol läuft, die elektrischen Verbindungen zu der Spule umgekehrt werden müssen.

Es ist daher möglich, in der Mitte jeder Wicklung einen Hall-Effekt-Sensor anzuordnen, so daß, wenn sich der Sensor in der Nähe eines Nordpols befindet, der Strom in der Wicklung von links nach rechts (beispielsweise) umgeschaltet wird, und wenn sich die Wicklung in der Nähe eines Südpols befindet, der Strom von rechts nach links fließt. Der Übergang findet statt, wenn der Hall-Effekt-Sensor den Mittelpunkt zwischen den Magneten durchläuft. Auf ähnliche Weise muß bei der in Fig. 10 dargestellten beweglichen Wicklung die Wick-

lung in eine Reihe von Segmenten unterteilt werden, in denen die Richtung des Stromflusses auf eine Weise umgekehrt wird, die von der Position des Wicklungssegmentes und der Polarität des nächstliegenden magnetischen Segmentes abhängt.

(Es ist anzumerken, daß die Hall-Effekt-Sensoren an sich die Richtung des Stromflusses nicht bestimmen, da das Stellglied Beschleunigungen in beiden Richtungen unabhängig von der genauen Position und Geschwindigkeit erzeugen muß. Das heißt, wenn sich das Stellglied nach links bewegt und weiter nach links beschleunigt werden muß, kann der Strom positiv sein, es ist jedoch auch möglich, daß das Stellglied sich nach links bewegt und nun nach rechts beschleunigt werden muß, wobei in diesem Fall die Richtung des Stroms in der Wicklung negativ ist.)

POSITIONSMESSWERTWANDLER-KOMMUTIERUNG

Es liegt auf der Hand, daß das Verfahren des Unterteilens der Stellgliedwicklung in eine begrenzte Anzahl Segmenten und das Kommutieren dieser Segmente zu entsprechenden Zeitpunkten auch mikroprozessorgesteuert ausgeführt werden kann, wenn der Computer stets über die Positionen des Kolbens und des Stators zueinander informiert ist.

Das mikroprozessorgesteuerte Umschalten hat darüber hinaus den Vorteil, daß die Annäherung an den Punkt der Stromumkehrung auch modifiziert werden kann, um Umschalttransienten zu vermeiden. Des weiteren ist es möglich, daß das Mikroprozessorsystem den Betrag der Ströme in den Wicklungssegmenten verhindert, um die Welligkeit der Kraft zu glätten, die ansonsten auftreten würde. So zeigt Fig. 16 beispielsweise ein Schema der Kommutierung, wenn sich eine 4-Wicklungs-Anordnung (ABCD) in bezug auf eine typische Magnet/Abstandshalter-Anordnung bewegt. In Fig. 16(i) wird maximaler Schub bei Spitzenströmen in allen Wicklungen erreicht. In Fig. 16(ii) jedoch wird kein voller Schub mehr erreicht, da sich die Abnahmebereiche der Wicklungssegmente nur unterscheiden, und dies gilt fortlaufend für Fig. 16(iii) bis Fig. 16(vi).

Wenn kein Korrekturmechanismus eingesetzt würde und der Strom in allen Spulen auf seinem Spitzenwert konstant bleiben könnte, würde die Kraft bei der in diesem Beispiel dargestellten Schubbewegung um 32% variieren. Dies wäre natürlich beim Simulatoreinsatz nicht akzeptabel, obwohl es beim industriellen Einsatz, bei dem keine außerordentliche Empfindlichkeit gegenüber Kraftänderungen besteht, annehmbar sein könnte. In untenste-

henden Abschnitten des vorliegenden Dokuments werden alternative Mittel bzw. Kombinationen von Mitteln zur Glättung des Kraftausgangs beschrieben.

TRANSISTOR-WICKLUNGS-UMSCHALTUNG

Fig. 17 zeigt eine komplementäre HF-Wicklungsansteueranordnung, bei der eine Spule 170 mit einem gemeinsamen Rückleiter zu Nullpotential über Transistoren x oder y mit einer positiven oder negativen Gleichspannungsquelle verbunden werden kann. In Funktion wird Transistor x oder Transistor y als Hochfrequenzschalter eingesetzt, der entweder gesättigt an oder vollkommen abgeschaltet wird und so moduliert ist, daß das Tastverhältnis der AN-Zeit zur AUS-Zeit den mittleren Strom in der Spule bestimmt.

Die Schutzdioden d1 und d2 über die Schalttransistoren sind erforderlich, um Spannungsüberschwingen der Wicklunganschlußspannung zu verhindern. Wenn Transistor x beispielsweise für einen Bruchteil einer Sekunde hart angeschaltet wird, beginnt Strom in der Wicklung anzusteigen. Wenn Transistor x plötzlich ausgeschaltet wird, schwingt das Potential an q stark in den negativen Bereich, bis es durch die Diode d2 auf negativer Betriebsspannung abgeschnitten wird. Der Strom beginnt dann in der Wicklung abzufallen, bis Transistor x wieder hart angeschaltet wird, so daß der Strom in einer positiven Richtung zunimmt. Ähnliche Erwägungen gelten für negative Wicklungsströme und für die mit positiver Speisung.

Die Ansteuerwellenform für die Schalttransistoren kann durch den Mikroprozessor bestimmt werden, der das Positionsstellglied steuert, und sie berücksichtigt die folgenden Parameter:

- Position der Magnet- und Spulenbaugruppen zueinander.
- Gewünschte Position des Stellgliedes.
- Gewünschte Geschwindigkeit des Stellgliedes.
- Gewünschte Beschleunigung des Stellgliedes.
- Annäherung an Grenzpositionen (beispielsweise Endanschläge).
- Notzustände (beispielsweise Funktion bei Spannungsausfall).
- Strommodulation zum Glätten von Kraftwelligkeit.
- Ausgleich von veränderlichem Wicklungswirkungsgrad.
- Induktive Zeitkonstante des Stellglied-Wicklungsabschnitts.

Kraft oder Beschleunigungsrückführung kann auf die programmierte Variation aufgesetzt werden (siehe Abschnitte AG und AH.)

AC. TRIAC-UMSCHALTUNG

Fig. 18 zeigt eine Anordnung der Spulensteuerung, bei der ein einzelnes kostengünstiges Triac-Element die zwei Umschalt-Leistungstransistoren und zwei Dioden ersetzt, die im vorangegangenen Abschnitt dargestellt sind.

Ein Ende der Wicklung ist nunmehr fest mit einer Wechselspannungsquelle verbunden, die zwischen plus V und minus V mit hoher Frequenz (über 1 KHz) durch ein Wechselrichtersystem umgeschaltet wird, das mit einem Netzspannungs-Brückengleichrichtersystem betrieben wird, das zur Speisung von zwei Akkumulatoren dient.

Es ist klar, daß wenn die Triggerspannung F angelegt wird, wenn die Wechselspannung auf v plus ist, der Strom in einer Richtung durch die Wicklung fließt, während, wenn die Triggerspannung f anliegt, wenn die Spannungszufuhr auf v minus ist, der Strom in der entgegengesetzten Richtung durch die Wicklung fließt. (Der Triac ist in der Lage, bei Spannung in beiden Richtungen zu leiten).

Der mittlere Strom durch die Wicklung kann verändert werden, indem der Zeitpunkt während des Spannungszufuhrzyklus gesteuert wird, zu dem die Triggerspannung an den Triac gelegt wird. Wenn der Strom während eines Halbzyklus angestiegen ist, schaltet der Triac ab, wenn der Strom während des nächsten Halbzyklus unter dem Einfluß der Spannung entgegengesetzter Polarität, die an das Wicklungselement angelegt wird, auf null abfällt.

Es ist anzumerken, daß, wenn das Stellglied auf eine Geschwindigkeit von 50 cm pro Sekunde beschleunigt worden ist, und die Breite einer Wicklung in der Größenordnung von 1 cm liegt (so daß das Umschalten über eine Strecke in der Größenordnung von 1 mm stattfinden muß) die Umschaltübergangszeit ein 1/500 einer Sekunde bzw. 2 Millisekunden betragen muß.

Diese Parameter setzen eine obere Grenze für die Induktivität des Wicklungsabschnitts. Wenn sich beispielsweise ein Strom von 10 Ampere innerhalb einer Zeit von 0,5 Millise-

kunden von einer Spannungsquelle von 50 Volt aufbauen soll, muß die Induktivität der Wicklung weniger als 2,5 mH betragen.

AD. GLEICHSPANNUNGSQUELLEN

Es liegt auf der Hand, daß das System von dem Vorhandensein von Gleichspannungsquellen abhängt, von denen Strom in der Größenordnung von 30 Ampere (10 Ampere pro Stellglied) über einen Zeitraum in der Größenordnung von 0,1 Sekunden bezogen werden kann. Es ist zu erwarten, daß eine derartige Spannungsquelle aus einer brückengleichgerichteten Spannungsquelle bestehen kann, die eine aufladbare Batterie versorgt, die als Energievorrat dient.

Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß eine Spannungsversorgungsreserve in den Akkumulatoren bereitgehalten wird, so daß die vorgesehen Notfunktionen (beispielsweise Bewegen der Kapsel in die Horizontale und Absenken derselben) mit ausreichenden Energiereserven ausgeführt werden können.

AE. WECHSELSPANNUNGSQUELLEN (NETZ)

Triac-gesteuerte Wicklungssysteme stellen eine einfache und kostengünstige Einrichtung zum Steuern von starken Strömen in Stellglied-Wicklungsbaugruppen dar. Der Nachteil einer Netzspannung mit 50 Hz oder 60 Hz ist die relative langsame Wirkung beim Abschalten einer erregten Wicklung unabhängig von der Induktivität. Dies kann ausgeglichen werden, indem Spannung in entgegengesetzter Richtung an eine benachbarte Wicklung angelegt wird, wobei dies jedoch eine erhebliche Energieverschwendung darstellt.

Die Nachteile einer Netzfrequenzwechselfeldspannungserzeugung sind wahrscheinlich für die meisten Einsatzzwecke bis auf die, die hohe Genauigkeit erfordern, in Kauf zu nehmen.

AF. WECHSELSPANNUNGSQUELLEN (WECHSELRICHTER)

Eine Wechselfeldspannungsquelle mit beliebiger Frequenz kann mit einem Verfahren hergestellt werden, bei dem eine leistungs-fähige Reserve in Form von Batteriespannung zwischen das Netz und das Gerät geschaltet wird. Diese Batteriespannungsreserve kann ver-

wendet werden, um die Stellglieder beim Netzausfall über den Zeitraum zu steuern, der erforderlich ist, um die Notfunktionen auszuführen.

Der Einsatz einer Wechselrichterfrequenz, die erheblich höher ist als die der Netzfrequenz, ermöglicht genauere Steuerung der Wicklungsströme, wenn das Wicklungssystem so aufgebaut ist, daß die Segmente bei allen Stromkreisbedingungen niedrige Induktivität aufweisen.

AG. KRAFTRÜCKFÜHRUNG

Es wurde bereits erläutert, wie sich Wicklungssegmente mit finiter Größe bei der Erzeugung eines Schubs auswirken, der, wenn die Ströme in den Wicklungen nicht verhindert würden, eine erhebliche Welligkeit der Kraft aufweisen würde.

Obwohl eine vorausberechnete Veränderung des Stroms durch das Mikroprozessorelement mit einer genauen Positionsrückführung von einem Positionsmeßwertwandlerelement in dem System gesteuert werden kann, kommt es auch zu Abweichungen zwischen einem Magnetsystem und dem anderen und geringfügigen Schwankungen der Flußwegsymmetrie, die leichte Veränderungen der durch den Kolben erzeugten Kraft bei der Bewegung in dem Zylinder bewirkt.

Schließlich ist in früheren Dokumenten erläutert worden, daß die thermodynamischen Veränderungen in der Gasfeder unter dem Kolben (wenn vorhanden), die von den elektromagnetischen Kräften überlagert wird, ebenfalls zu vorübergehenden Schwankungen des Gesamtschubes des Stellgliedes führen.

(Die Temperatur des Gases verändert sich aufgrund der adiabatischen Volumenänderung, die durch eine plötzliche Bewegung des Kolbens bewirkt wird. Es kommt zu einer kurzen Zeitverzögerung, bevor der Wärmestrom die ursprüngliche Gastemperatur wiederherstellt, so daß der Anteil des Schubes aufgrund des Luftdrucks auf den Kolben verändert wird. Um dies auszugleichen, ist eine kontinuierliche Veränderung des elektromagnetischen Schubes erforderlich).

Eine Kraftrückführungselement 190 wird daher zwischen den Kolben und die Kolbenwelle eingesetzt, und die Signale von diesem Kraftmeßelement werden dem Steuerungssystem als Endabweichungsparameter zugeführt, wie dies in Fig. 19 dargestellt ist.

Das Kraftmeßelement kann ein druckempfindlicher Widerstand, ein System von Dehnungsmeßstreifen oder jedes andere Element sein, das einen Ausgang erzeugt, der sich mit der in positiver oder negativer Richtung wirkenden Kraft ändert.

AH. BESCHLEUNIGUNGSRÜCKFÜHRUNG

Da der Zweck des Stellgliedes darin besteht, eine Last zu beschleunigen, wobei der genaue Wert der Last nicht vorbestimmt ist, ist es erforderlich, in einen Regelkreis einen Beschleunigungs-Rückführungs-Meßwandler 192 zu integrieren. Der Meßwertwandler kann als Teil der Last (bei einem Simulatormechanismus können sie beispielsweise in der Kapsel angebracht sein) angebracht werden. Als Alternative dazu können sie in das Stellglied selbst integriert werden. Der Beschleunigungsmesser kann beispielsweise in dem Kolbenelement auf die gleiche Weise angebracht werden, wie dies bereits für den Kraftmeßwertwandler beschrieben wurde (siehe Fig. 20).

Wenn der Beschleunigungsmeßwertwandler eingesetzt wird, ist es nicht erforderlich, einen Kraftmeßwiderstand zu integrieren, da die Beschleunigung proportional zur Kraft ist und das Signal von den Beschleunigungsmessern auch die erforderliche Information über die momentane Kraft enthält. Dies kann in einem Rückführsystem zur Regelung des Stroms in den Stellgliedwicklungen genutzt werden, um alle Faktoren zu berücksichtigen, die Änderungen der Kraft bewirken, und die bereits in vorangegangenen Abschnitten erläutert wurden.

SCHUBSTANGEN

Die Gründe dafür, daß der Luftspalt, der die stromführenden Spulen enthält, nur auf einer Seite des Magnetkreises angeordnet wird, wurden bereits erläutert. Das heißt, in einem System mit sich bewegender Wicklung können die Magneten im Inneren des äußeren Stahlzylinders angeordnet sein, und der Kolben kann sich auf der Mittellinie des Zylinders darin bewegen. Für ein äquivalentes System mit sich bewegendem Magneten sind die elektrischen Wicklungen an der Innenseite des äußeren Stahlzylinders angeordnet, und die

Magnetbaugruppe ("Kolben") bewegt sich auf der Achse des Zylinders. Bei beiden Anordnungen ist klar, daß die Schubstange an dem sich bewegenden Element bzw. Kolben befestigt ist und durch das Ende des Zylinders hindurch über ein Gleitlager auf die gleiche Weise vorsteht wie ein herkömmlicher pneumatischer oder hydraulischer Schieber.

Es ist jedoch ein System mit sich bewegenden Wicklungen vorstellbar, das von einer Hülse über einer stationären Mittelstange in einem Stahlzylinder getragen wird, der mit Radialfeldmagneten ausgekleidet ist. Bei einer solchen Anordnung weist der Kolben minimales Gewicht auf. In diesem Fall kann die Mittelstange so aufgebaut sein, daß sie Magnetelemente enthält, die den Magnetelementen des äußeren Zylinders entsprechen, so daß sich die Wicklung in dem Luftspalt zwischen zwei Dauermagnetmaterialien bewegt. Bei der Alternative kann die innere Stange einfach aus Eisen bestehen, und die Wicklung bewegt sich dann als ein Zylinder, der auf dieser Stange gleitet, in einem äußeren Zylinder.

Ein Problem besteht natürlich darin, daß, wenn die mittlere Stahlstange als an Abschlussscheiben an beiden Enden des Zylinders befestigt angesehen wird, es schwierig ist, den Schub aus dem System herauszuleiten.

Es ist vorstellbar, daß die bewegliche Hülse mit der Außenumgebung über eine Reihe (beispielsweise 3) Stangen 210 verbunden ist, die den Scheibenverschluß 212 an einem Ende des Zylinders über separate Stopfbuchsendichtungen für jede Stange durchdringen, wie dies in Fig. 21 dargestellt ist. Eine ähnliche Anordnung würde für eine sich bewegende Magnethülse erforderlich sein, die sich zwischen Wicklungen im Inneren der äußeren Stahlummantelung und außerhalb der inneren Stahlstange bewegt.

Ak. Elektrische Verbindungen

Die elektrischen Verbindungen mit den Wicklungssegmenten eines Systems mit beweglichen Magneten sind relativ einfach, da die Wicklungen einen Teil des Stators bilden, der das äußere Element darstellt. Wenn Festkörperschaltung eingesetzt wird, kann ein Satz von Schaltungstransistoren und ein Triacelement an jeden Wicklungsabschnitt angrenzen oder als Gruppe in einer separaten Steuereinrichtung angebracht werden, zu denen Wicklungsanschlüsse als verdrehte Paare geführt werden.

Fig. 14 zeigt ein äquivalentes System, bei dem die Kommutierung mechanisch unter Verwendung von den Bürsten ausgeführt wird, die an einem Kommutatorstreifen anliegen. In diesem Fall muß die Spannung an den Bürsten, obwohl die Wicklungen stationär sind, einem beweglichen Kolben zugeführt werden.

Bei einem System mit beweglicher Wicklung können die Steuerelemente in Fig. 17 an der sich bewegenden Kolbenbaugruppe angebracht sein, der die Spannung mit einem Drei-Leiter-System auf die gleiche Weise wie in der Fig. 14 zugeführt wird. Als Alternative dazu werden die Steuerelemente außerhalb der Stellgliedbaugruppe angebracht, die sich in einer kühleren Atmosphäre verbinden, und die Wicklungsanschlüsse werden als verdrehte Paare herausgeführt.

All diese Systeme haben das Problem gemeinsam, daß das Kabel sehr flexibel sein muß, und daß es an einem Ende des Kolbenzylinders auf sehr kleinem Raum zusammengedrückt wird.

Das Kabel muß vom Bandtyp sein, wie es beispielsweise in Drucker- und Plottereinheiten eingesetzt wird, und federgespannt sein, so daß es zu einer zusammengedrückten Baugruppe eingezogen wird. Die Baugruppe aus zusammengefaltetem Kabel kann in einem Hohlraum an der Stirnseite der Kolbeneinheit oder in einem Hohlraum am unteren Ende des Stellgliedzylinders aufgenommen sein, wie dies in Fig. 22 dargestellt ist. Um den Einsatz eines derartigen Bandkabels zu erleichtern, sollten die Spulenwicklungen eine Auslegung auf eine Stromstärke von weniger als einem Ampere und eine erforderliche Spitzenspannung von weniger als 150 Volt haben.

Al. Montage.

Es ist ein System mit beweglichen Magnet beschrieben worden, bei dem der Stator einen äußeren Stahlzylinder umfaßt, der mit einer Reihe von Kupferdraht-Wicklungsabschnitten ausgekleidet ist, die natürlich auf eine innere Auskleidung gewickelt werden und anschließend in den Stahlzylinder geschoben werden müssen. (Beim Vorgang des Wickelns wird die dünne Auskleidung über einen starren Zylinder bzw. Schaft gepaßt, damit sie den Druckbelastungen der erforderlichen Wickelspannung widersteht.)

Die sich bewegende (Kolben-) Baugruppe aus Magneten und Schubstange kann dann in die Auskleidung eingeführt werden, und das Abschlußteil bzw. die Abschlußteile hinzugefügt werden, um die Einheit zu vervollständigen.

Bei einem System mit sich bewegender Spule erfaßt jedoch der Stator einen äußeren Stahlzylinder, der mit einer Reihe von Ringen aus Magnetmaterial ausgekleidet ist, die abwechselnd in die entgegengesetzte Richtung magnetisiert sind. Es liegt auf der Hand, daß, wenn die Nieten an der Außenseite einer nichtmagnetischen Auskleidung (die vorübergehend über einen Stahlzylinder bzw. eine Stange gepaßt wird, um die Magneten in Position zu halten) angebracht würden, es aufgrund der Klemmwirkung der Magneten nicht möglich wäre, die Magnetanordnung in den äußeren Zylinder einzuführen.

Eine praktische Methode der Montage ist in Fig. 23 dargestellt.

Dabei ist der äußere Zylinder in zwei Hälften unterteilt, und die Magnetsegmente werden als "Kacheln" an der freiliegenden Innenfläche des Zylinders mit entsprechenden Abstandshalterelementen aus Aluminium oder Kunststoff angebracht. Die Kolbeneinheit mit beweglicher Wicklung wird anschließend in eine dünne nichtmagnetische Hülse eingeführt, die sich in einer zusammengesetzten Hälfte des Stators befindet, während die andere Hälfte ausgerichtet und dann angefügt wird, um das Zusammensetzen zu beenden.

(Es ist anzumerken, daß eine Kraft zwischen den zwei Statorteilen in einer axialen Richtung wirkt, bis die Montage vollendet ist, die auf die Neigung der Magnethalbringe zurückzuführen ist, sich auf Halbringe entgegengesetzter Polarität auszurichten.)

Dieses Montageverfahren eignet sich besonders für den Einsatz von geformtem Ferritplattenmaterial, das als flache Platte ausgebildet sein kann, die mit Magneten abwechselnder Polarität "gestreift" ist. Die Platten werden einfach in die Stahlzylinder eingelegt, wobei in einen von ihnen die Baugruppe aus Auskleidungsröhre und Kolben eingeführt wird, bevor die Plattenhälften zusammengesetzt werden.

Ein alternatives Verfahren des Zusammensetzens von langen Statorröhren besteht darin, sie als modulare Baugruppen mit gleicher Länge für zwei Magnetringe und zwei Abstandhalter zu konstruieren, wobei möglicherweise ein provisorischer innerer Stahlring-"Halter" vorhanden sein kann. Da die Module keine unausgeglichene Magnetfelder aufweisen,

können sie je nach Erfordernis aufbewahrt, transportiert und zusammengesetzt werden, so daß Statorbaugruppen entstehen, in die die luftdichte Auskleidungs- und -kolben-Baugruppe anschließend eingesetzt werden kann.

Die in dem vorliegenden Dokument beschriebenen neuartigen Merkmale sind die folgenden:

Die zweistufige topologische Umwandlung von Elektromotorsystemen zu zylindrischen Stellgliedern.

Der Aufbau elektromagnetischer Stellglieder ohne äußere Felder.

Der Einsatz von Scheiben- oder Plattenmagneten zur Herstellung von Kolbenbaugruppen.

Der Einsatz radial magnetisierter Segmente zur Herstellung von Kolbenbaugruppen.

Der Einsatz radial magnetisierter Segmente zur Herstellung von Statorhülsen, in denen sich eine sich bewegende Wicklungsbaugruppe als Kolben bewegt.

Die Konstruktion von Schubbaugruppen mit rechteckiger Röhre unter Verwendung von Plattenmagneten.

Die Konstruktion von Wicklungen endlicher Breite mit Festkörperkommutierung, für die $n_x = y + 2l$ gilt.

Der Einsatz von Stromsteuerungen in kommutierten Segmenten mit endlicher Breite zur Linearisierung des Stellgliedschubes.

Der Einsatz von Kraftmeßelementen zum Ausgleich von unvorhersehbaren und/oder schnellwirkenden Variablen Übergangsveränderungen des Stellgliedschubes.

Der Einsatz von Beschleunigungsmesser-Rückführung zur Regelung des Stroms in Stellgliedwicklungen, um Schubschwankungen auszugleichen und die Stellung des Stellgliedes zu kompensieren.

Die Konstruktion eines universellen (für Wechselstrom und Gleichstrom geeigneten) elektromagnetischen Stellgliedsystems.

Die Konstruktion linearer Stellglieder mit Wanderwellen sowohl im Stator als auch im Kolben, wobei die Phasenbeziehung der Wellen die auf den Kolben wirkende Kraft bestimmt.

Der Einsatz einer Phasensteuerung zur Arretierung des Kolbens an einer Knotenposition in einem derartigen Wanderwellensystem.

Die Konstruktion von Wanderwellen-Stellgliedsystemen mit induktiv gekoppelten zylindrischen Kolben.

Der Einsatz von Stellgliedern mit servogestützten induktiv gekoppelten Kolben für verstärkten Schub bei relativ niedrigen Geschwindigkeiten.

Der Einsatz von Phasensteuerung zur Modifizierung der Kraft und der Richtung des Schubs in einem Stellgliedsysteme mit Wechselstrom mit 2 oder 3 Phasen.

Die Kombination von Hall-Effekt-Kommutatorumschaltung und Krafrückführungs-Schubsteuerung.

Der Einsatz eines Mikroprozessors und eines Positions-meßwertwandlers zur Erzeugung eines gleichbleibenden Ausgangsschubes des Stellgliedes durch vorhergesagte Stromänderung.

Die Kombination von durch Positionsmeßwertwandler vorher-gesagter Stromänderung und dynamischer Rückführung von einem Kraftmeß- oder Beschleunigungsmeß-Wandler.

Der Einsatz von Triac-Schaltelementen zur Steuerung der Amplitude und der Richtung des Stroms in kommutierten Wicklungselementen.

Ein Verfahren zum Montieren unter Verwendung eines zylindrischen äußeren Gehäuses, das über seine Länge in zwei oder mehr Teile unterteilt ist, um leichten Zugang zu Innenbereichen zu ermöglichen.

Ein Verfahren zum Montieren unter Verwendung eines zylindrischen äußeren Gehäuses, das in kürzere Abschnitte bzw. Module zerteilt ist und nach der Teilmontage zusammengesetzt wird.

Der Einsatz von geformtem Ferritmaterial zur Herstellung einer aus einem Teil bestehenden Baugruppe aus Magneten, die in jede Hälfte einer Statorbaugruppe aus einem geteilten Stahlzylinder eingelegt werden können.

Der Einsatz von geformtem Ferritmaterial zur Herstellung einer aus einem Stück bestehenden Baugruppe aus Magneten, die in jede Hälfte einer Kolbenbaugruppe aus einem Stahlzylinder eingelegt werden kann.

Die Herstellung von Stellgliedwicklungen auf direktem Wege oder als vorgeformte und beschichtete Baugruppen auf gerippten (mit Ringen versehenen) Stahlzylindern, um die magnetische Reluktanz zu verringern und die Rückwirkungskräfte mit den Schubkomponenten zu koppeln.

ANSPRÜCHE

1. Elektromagnetische Kolben- und Zylindervorrichtung, umfassend eine Zylinderbaugruppe mit einem länglichen Zylinder (30, 70, 91, 100, 125) aus magnetischem Material und ein Mittel (31, 71, 92, 102, 126) zum Erzeugen eines Zylinder-Magnetfeldmusters, umfassend eine Reihe von wechselnden, radialgerichteten Magnetpolen über die Länge des Zylinders, ein Kolbenelement (35, 73, 90, 103, 128), das in der Zylinderbaugruppe montiert ist und ein Mittel (37, 72, 93, 104, 129) zum Erzeugen eines radialen Magnetfeldmusters zur Zusammenwirken mit dem Zylinder-Magnetfeldmuster aufweist, so daß sich die Magnetfelder in dem Zylinder befinden, und ein Steuermittel zum Modulieren der Stärke und Polarität von wenigstens einem der Zylinder-Magnetfeldmuster, um auf diese Weise einen relativen Linearschub zwischen der Zylinderbaugruppe und dem Kolbenelement zu bewirken, wobei das Mittel zum Erzeugen des Zylinder-Magnetfeldmusters ein Mittel zum Erzeugen radialer Magnetfelder im Inneren des Zylinders umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß das Kolbenelement eine kürzere axiale Länge hat als der Zylinder, dadurch, daß der Zylinder an beiden Enden durch Endelemente verschlossen ist, wobei das Kolbenelement mit einer Antriebsstange versehen ist, die durch eines der Endelemente verläuft, und dadurch, daß das Innere des Zylinders mit einem Fluidreservoir in Verbindung steht.
2. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Zylinder-Radialfelder durch Dauermagnete (102) erzeugt werden.
3. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Zylinder-Radialfelder durch stromführende Spulen (31, 71, 92, 126) erzeugt werden.

4. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 3, bei der das Kolben-Radialfeld durch einen oder mehrere Dauermagnete (37, 72, 93, 129) erzeugt wird.
- 5 5. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 4, bei der das Kolben-Feldmustererzeugungsmittel radial magnetisierte Dauermagnete umfaßt, die axial voneinander beabstandet sind, um einen mittleren Pol einer Magnetisierungsrichtung und zwei weitere Pole zu bilden, die auf beiden Seiten des mittleren Pols beabstandet sind und die entgegengesetzte Magnetisierungsrichtung haben.
- 10 6. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, bei der das Kolben-Radialfeld von einer Mehrzahl von stromführenden Spulen (104) erzeugt wird.
- 15 7. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 6, bei der der Zylinder eine runde Querschnittsform hat.
- 20 8. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 6, bei der der Zylinder eine nichtrunde Querschnittsform hat.
9. Kolben- und Zylindervorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, bei der das Fluidreservoir ein Gasreservoir ist.
- 25 10. Kolben- und Zylindervorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, bei der der Kolben mit einem oder mehreren Meßwertwandlern (190, 192) versehen ist, um den Zustand des Steuermittels gemäß der Bewegung des Kolbens zu beeinflussen.
- 30 11. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 10, bei der einer der Meßwertwandler (190, 192) ein Beschleunigungsmesser ist.
- 35

17.09.98

3

12. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 11, bei der einer der Meßwertwandler (190, 192) ein Kraftaufnehmer ist, der sich zwischen dem Kolben und der Antriebstange befindet.

5

13. Kolben- und Zylindervorrichtung nach Anspruch 12, bei der einer der Meßwertwandler eine Positionserfassungsvorrichtung ist.

17.09.98
1/16

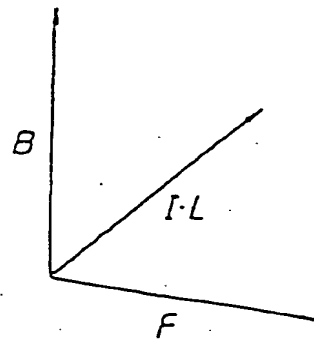


Fig.1.

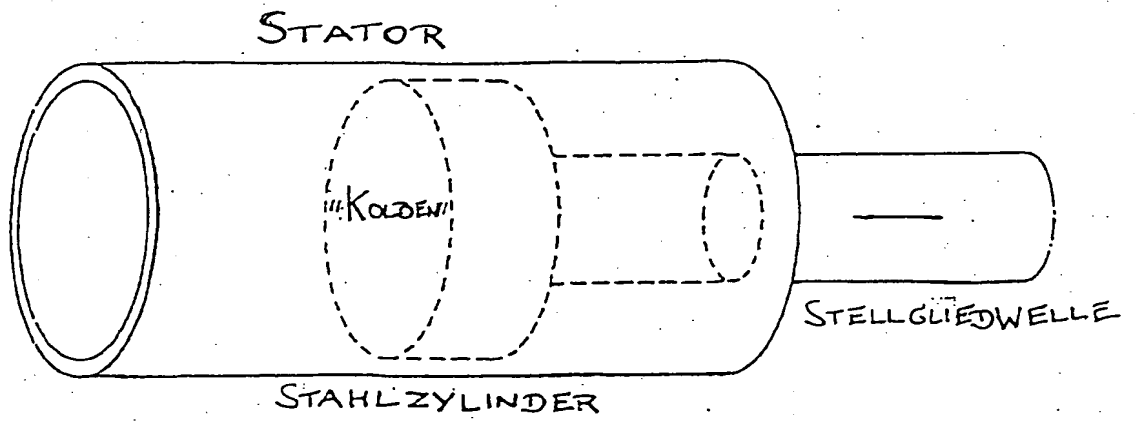
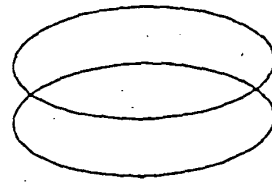
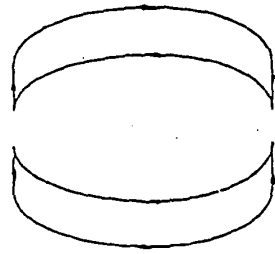


Fig.2.

17.09.99

2/16

GEDACHTE HALBRINGE
FÜR RADIALFELDER



RINGE MIT ENTGEGENGESETZTEM
STROM ERZEUGEN RADIALFELDER

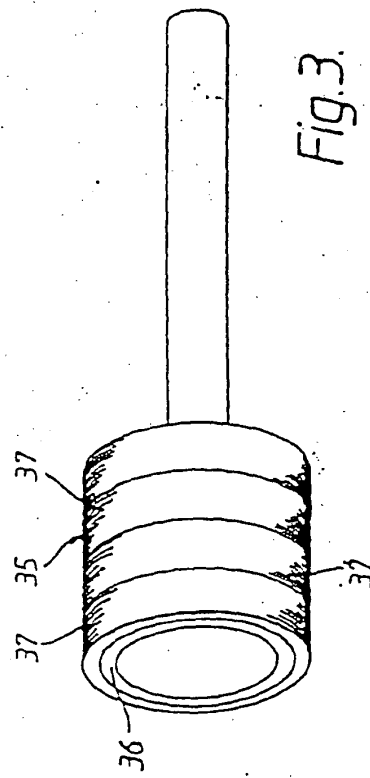
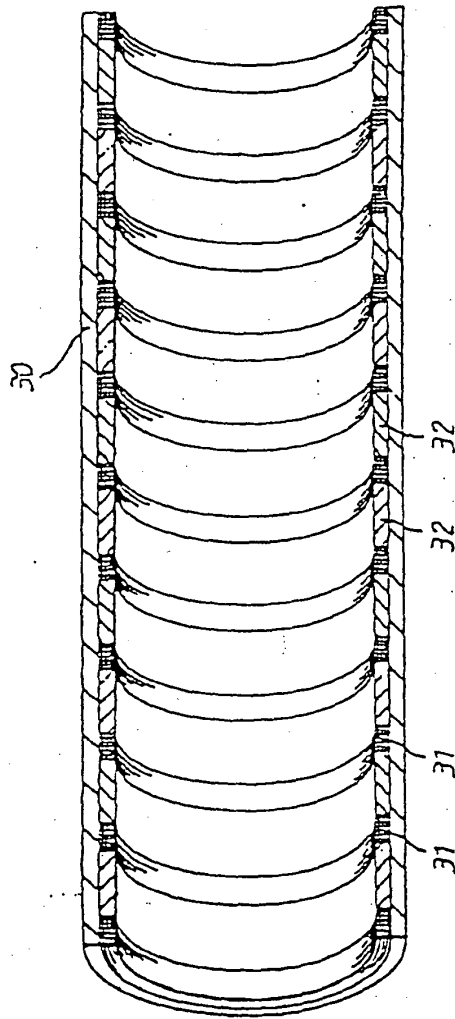
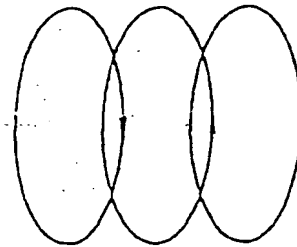
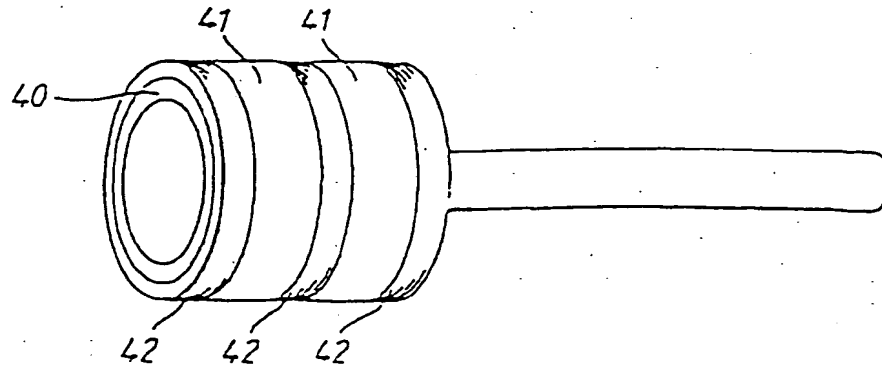


Fig. 3.

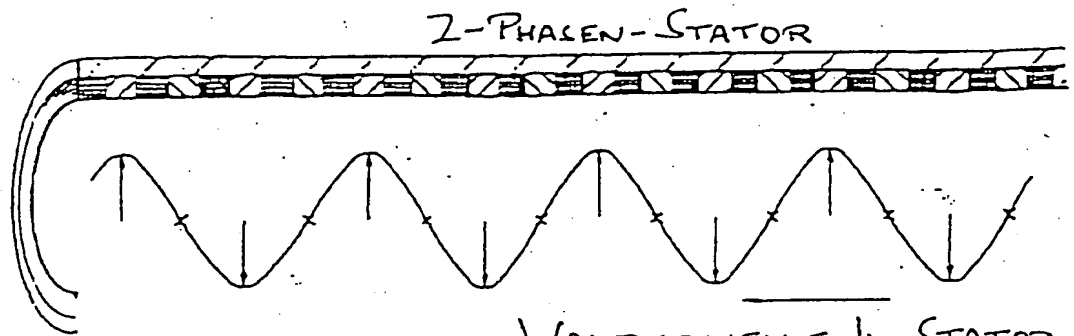
17.09.98

3/16

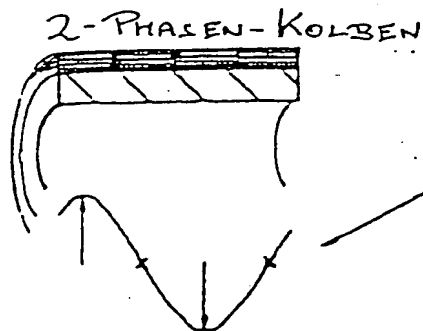


RINGE MIT ENTGEGENGESETZTEM STROM
ERZEUGEN RADIALFELDER

Fig.4.



WANDERWELLE IN STATOR
(≈ 2 METER / SEKUNDEN)



WANDERWELLE IN KOLBEN
(PHASENVERSETZT ZUM STATOR
BEI KRAFT NULL)

Fig.5.

4/16 17.09.98

2- ODER 3-PHASEIGE STATORWICKLUNG

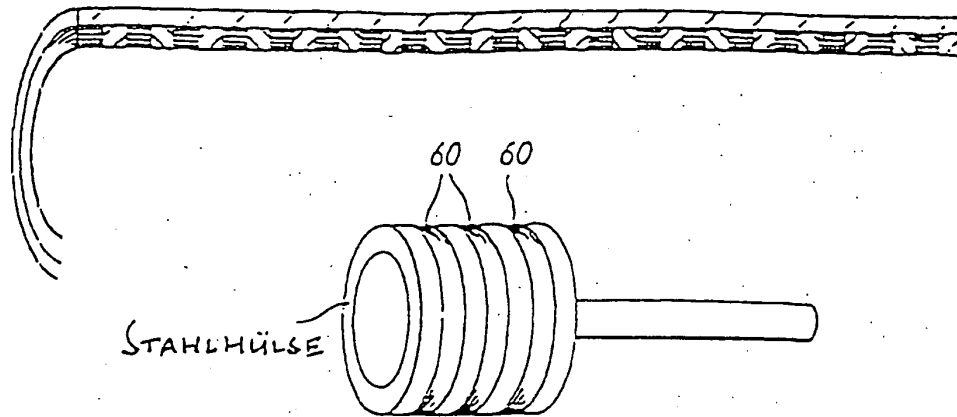


Fig. 6.

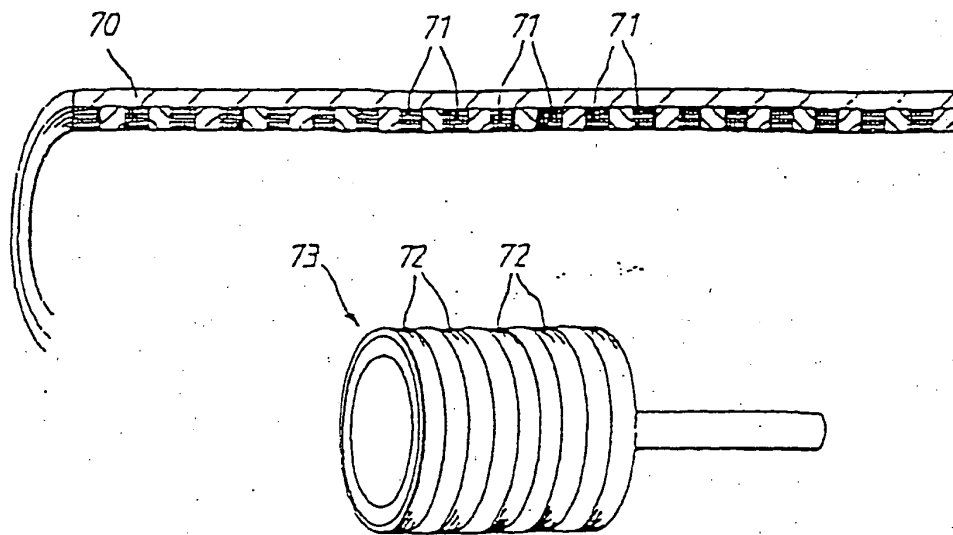


Fig. 7.

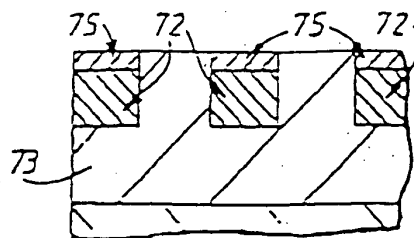
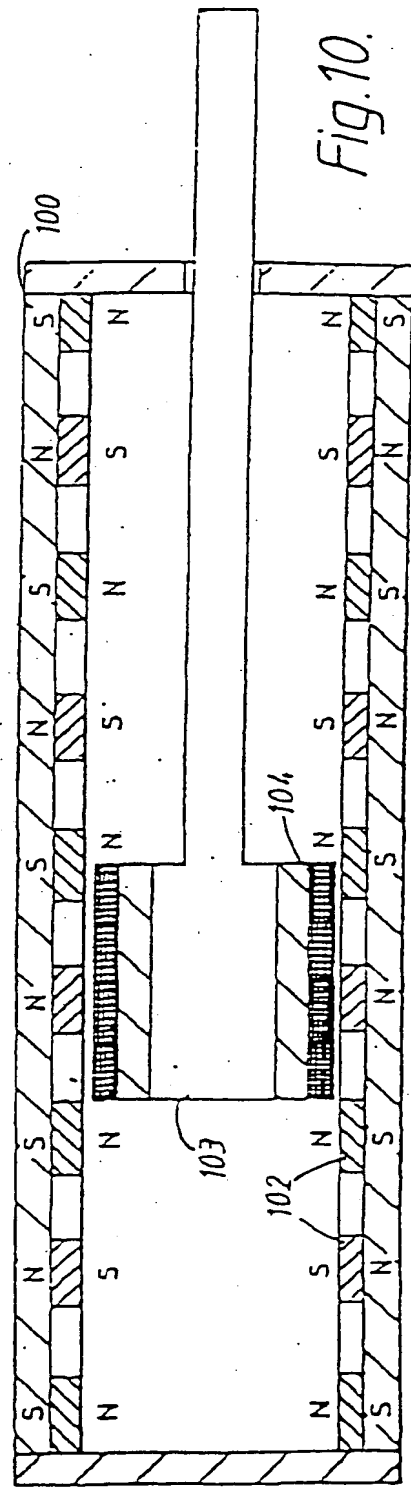
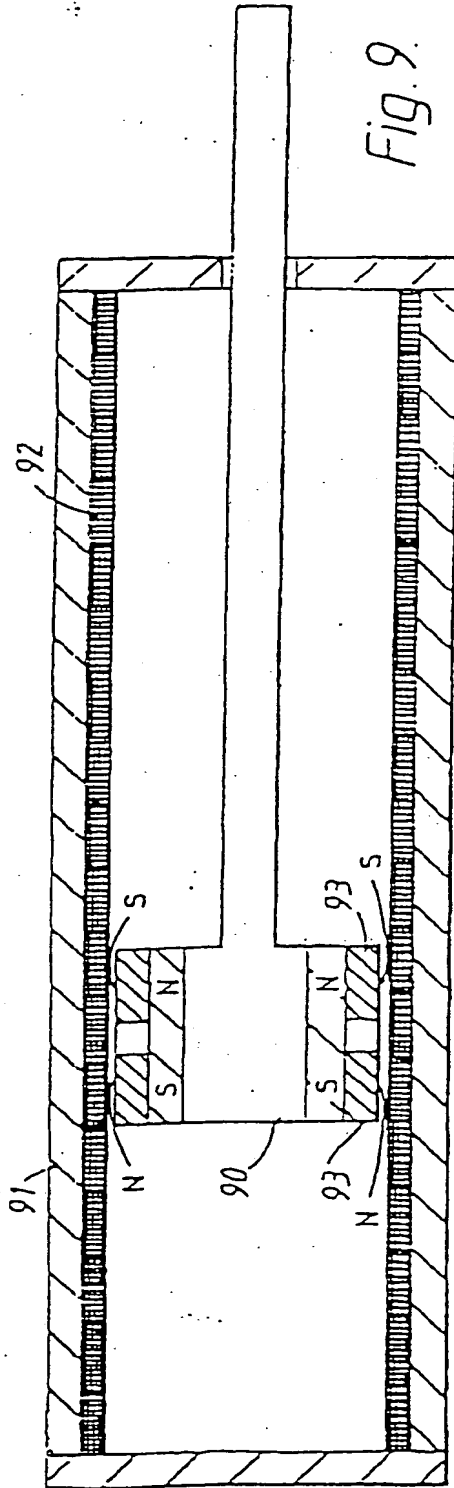


Fig. 8.



6/16

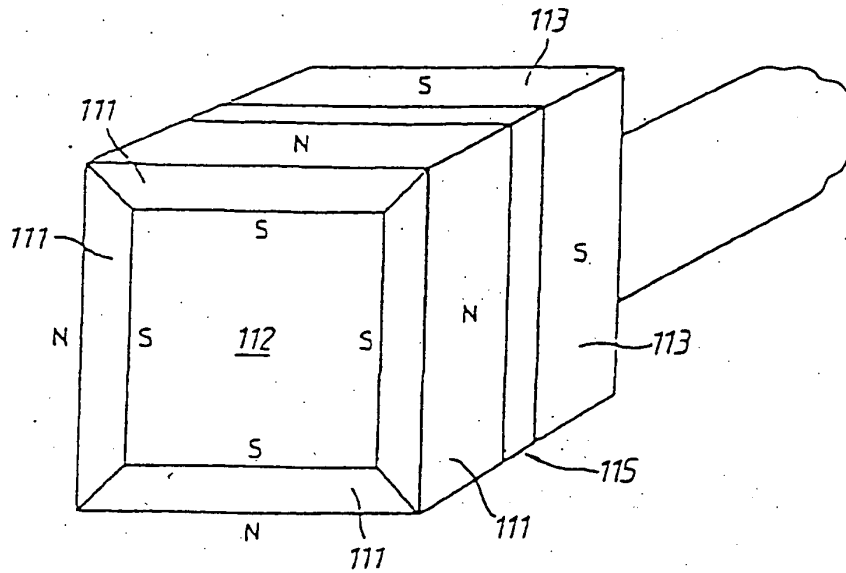


Fig.11.

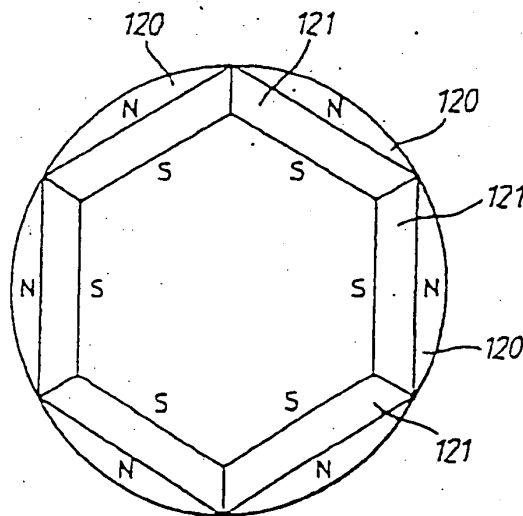


Fig.11(a).

7/16

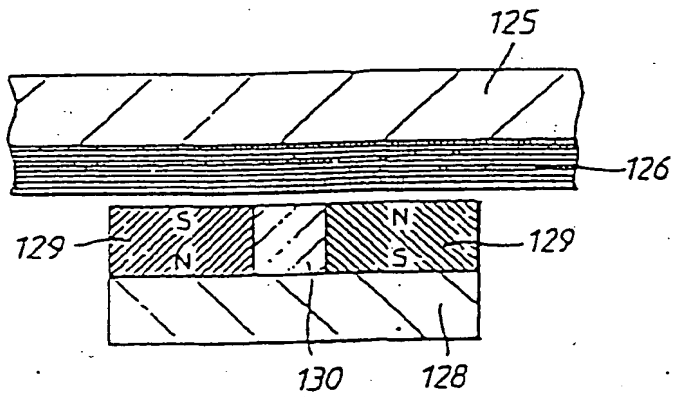


Fig.12(a).

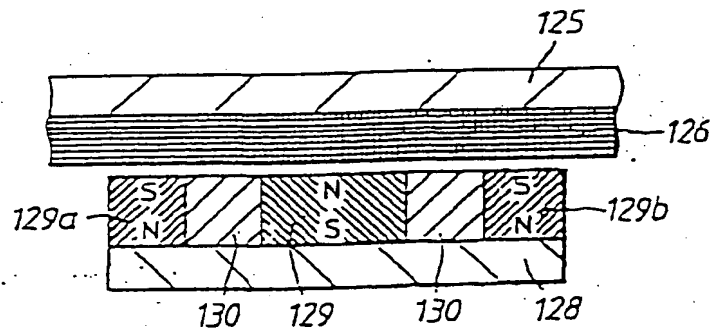


Fig.12(b).

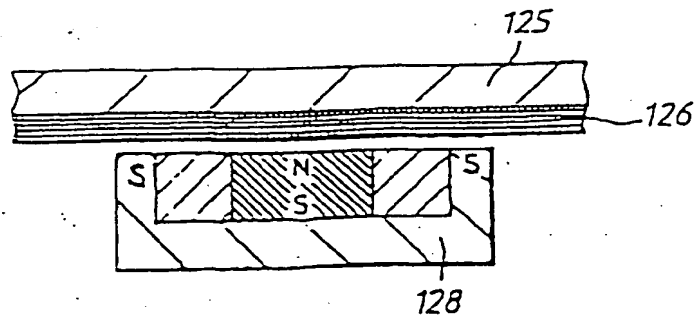


Fig.12(c).

9/16

Fig. 13(c).

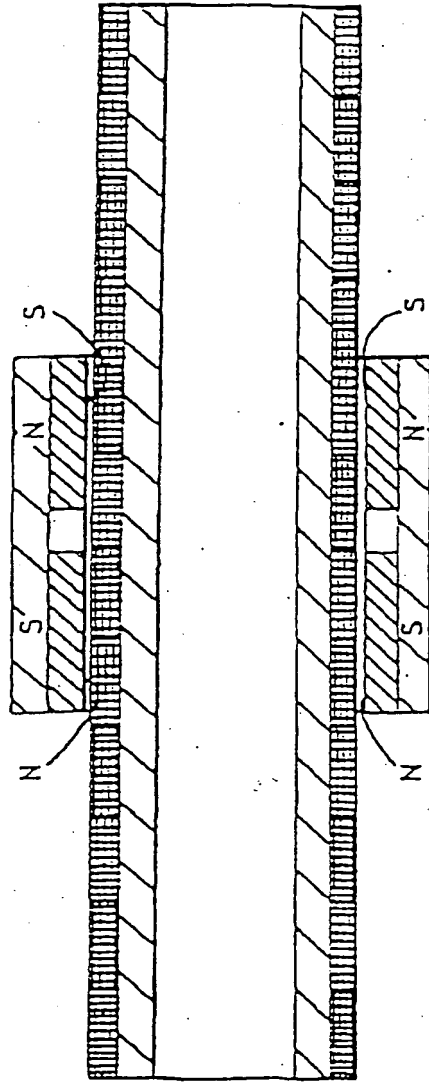
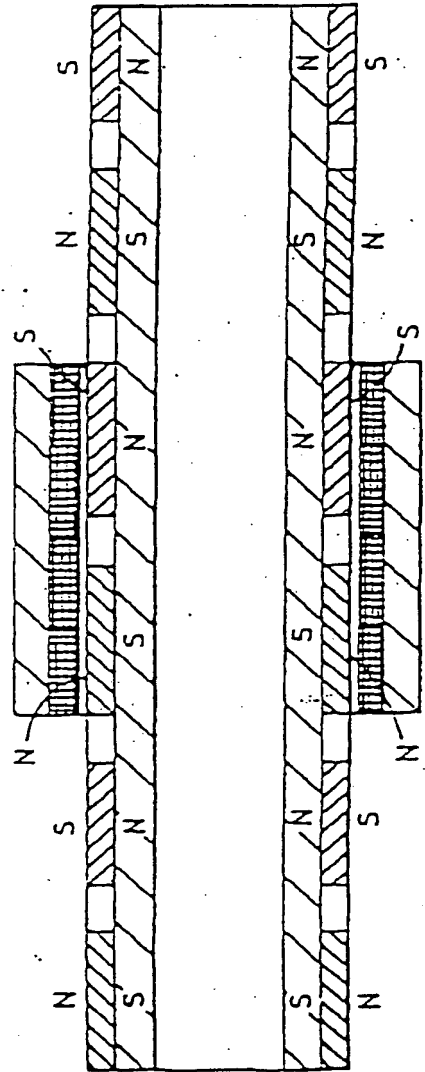


Fig. 13(d).



17.09.98

10/16

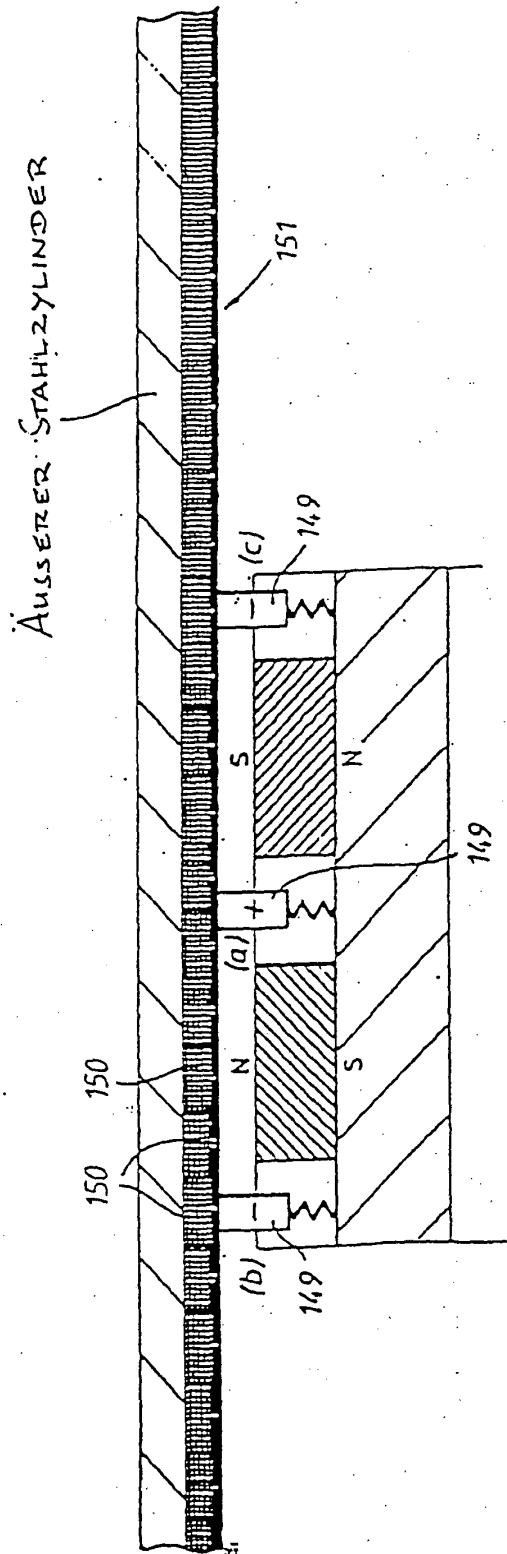


Fig.14.

17.09.98

11/16

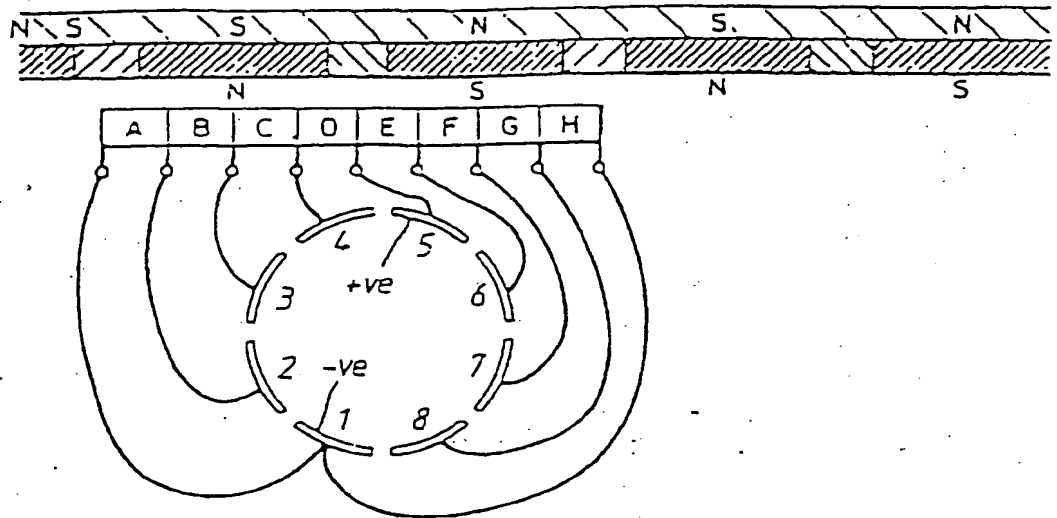


Fig.15(a).

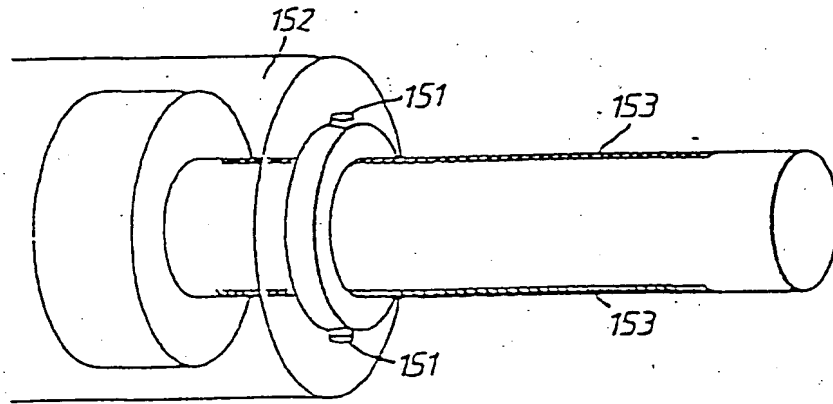
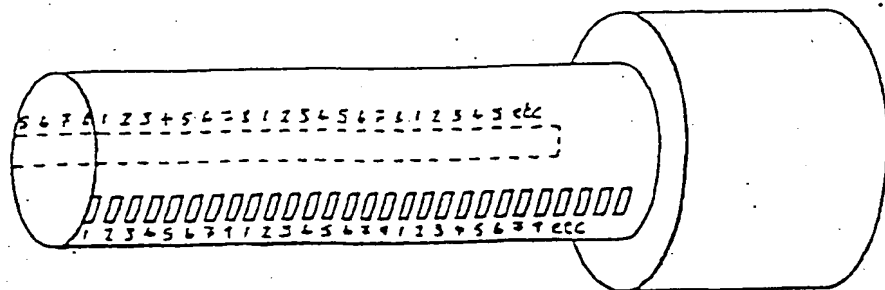


Fig.15(b).



ZEIGT VERSETZTE ZYKLISCHE KOMMUTATORKONTAKTE

Fig.15(c).

17.09.98

12/16

MAGNET/ABSTANDSHALTER-ANORDNUNG

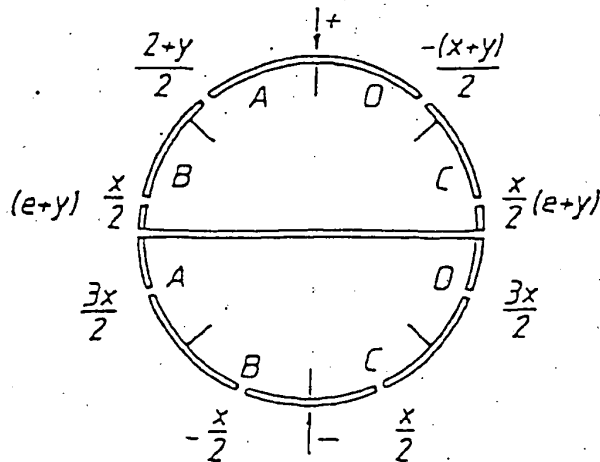
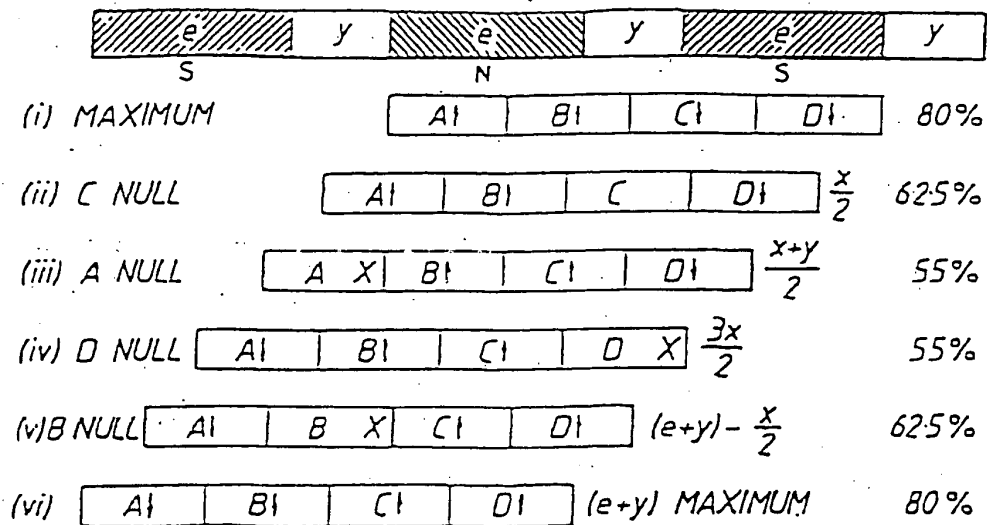


Fig.16

17.09.98

13/16

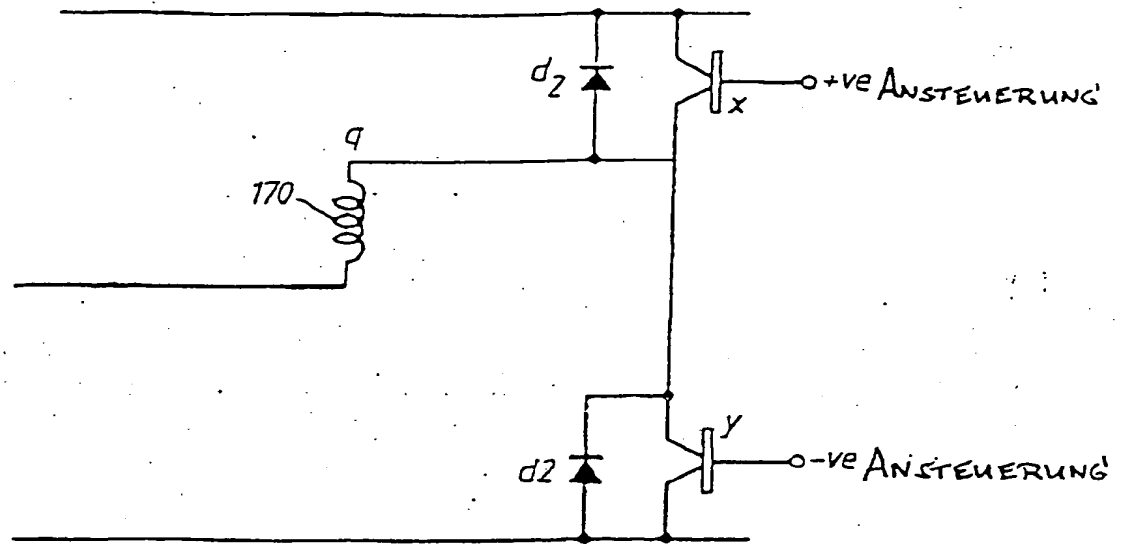


Fig.17.

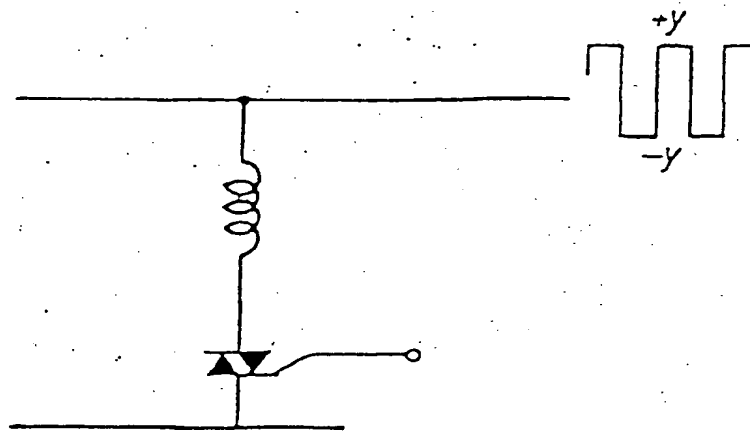


Fig.18.

17.09.98

14/16

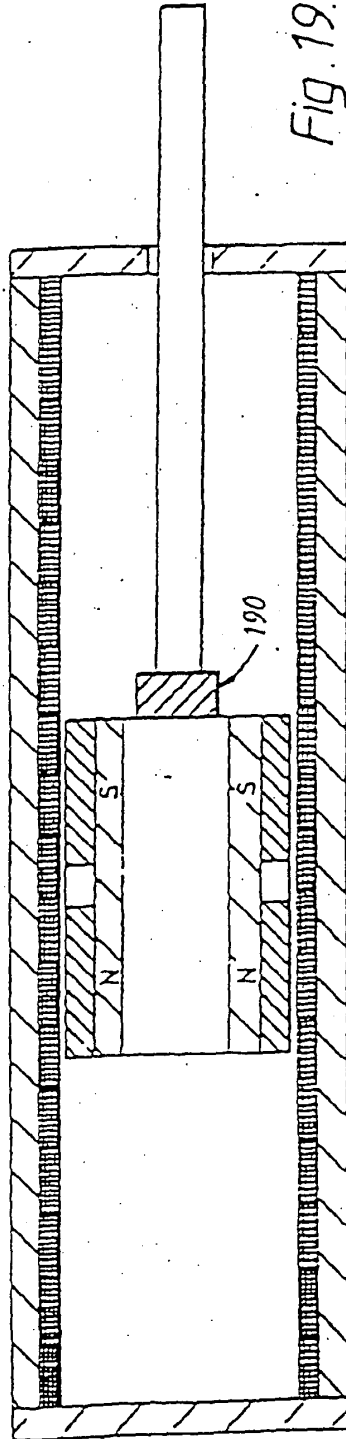


Fig. 19.

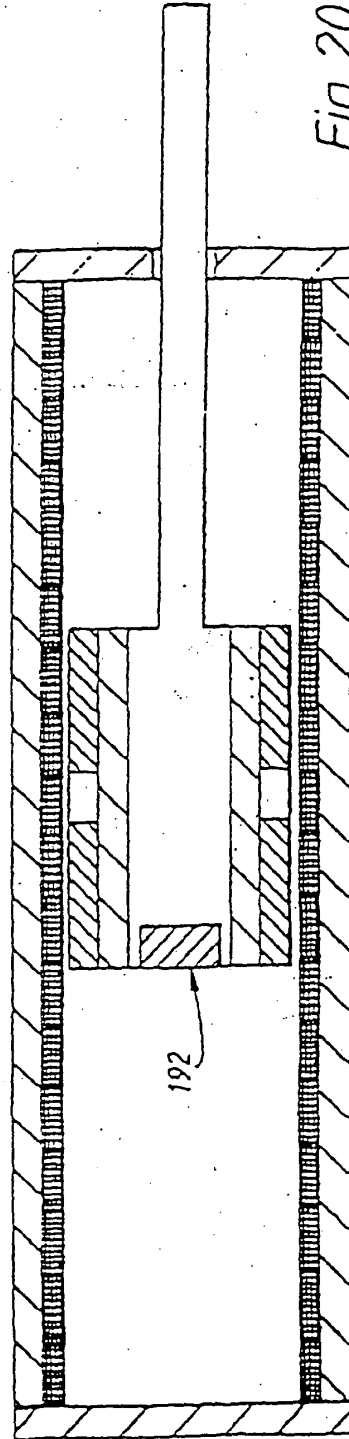


Fig. 20.

17.09.98

15/16

HÜLSENBAUGRUPPE MIT BEWEGLICHEM MAGNET

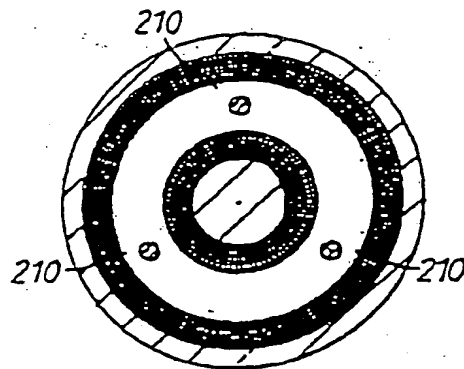
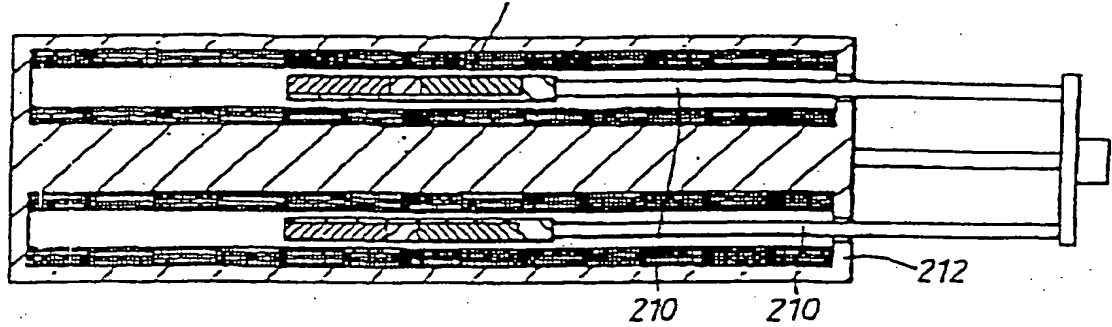


Fig.21.

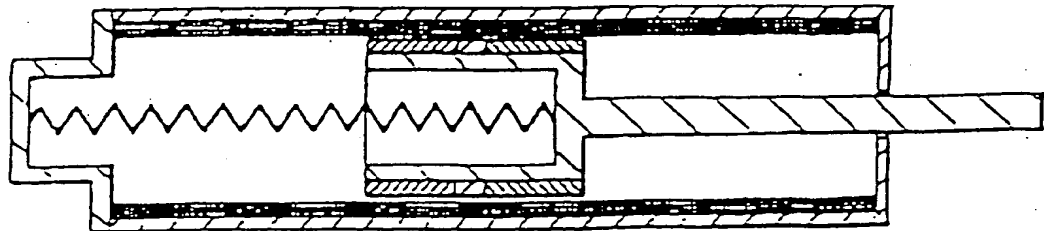


Fig.22.

17.09.98

16/16

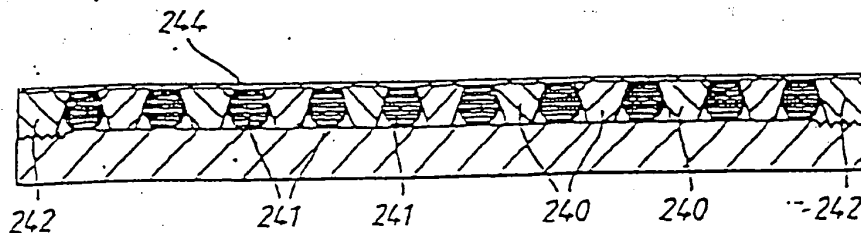
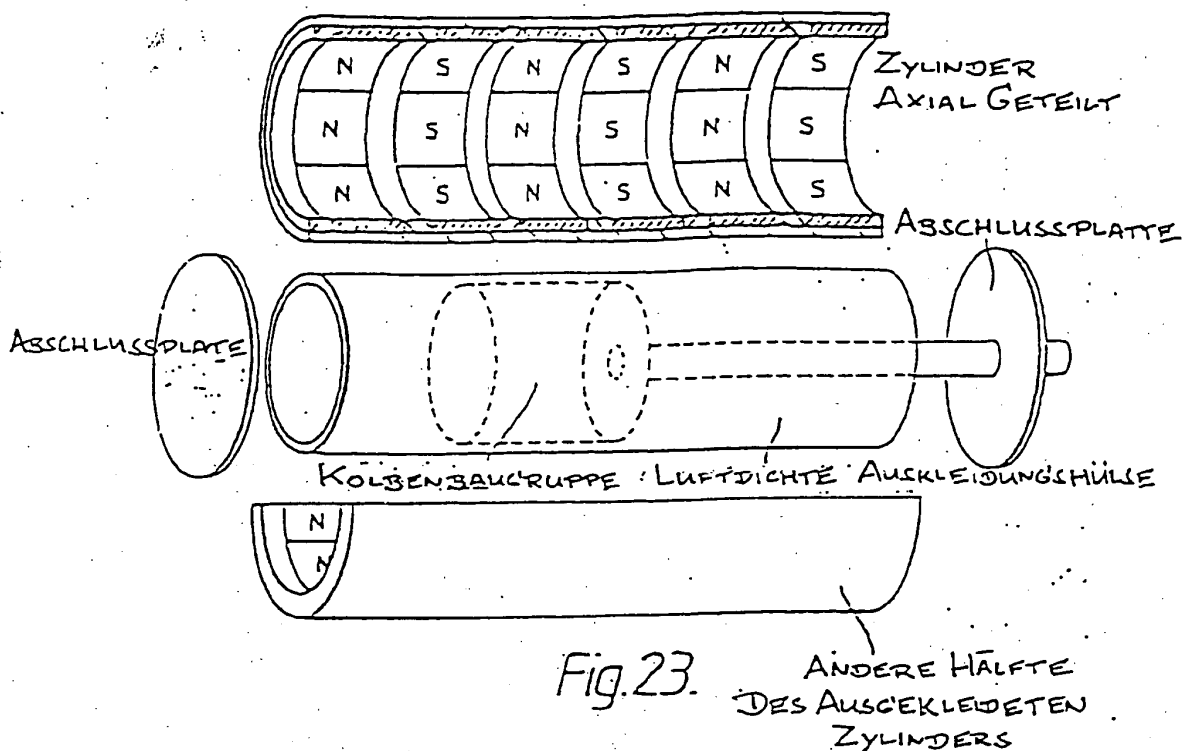


Fig. 24.

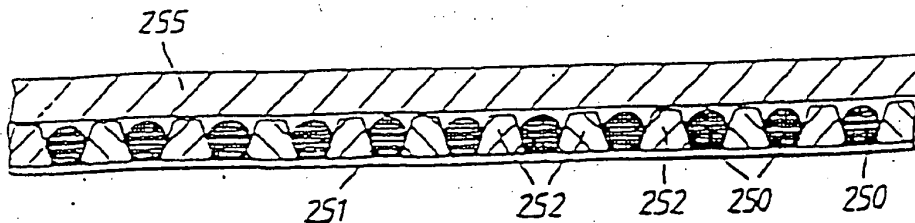


Fig. 25.